

Efecto de la época de siembra y la densidad de plantas sobre el número de granos y el rendimiento de un híbrido de maíz en la región central de Córdoba (Argentina)

Cantarero, M.G., S.F. Luque y O.J. Rubiolo

RESUMEN

Cambios en la fecha de siembra del cultivo de maíz modifican la respuesta del rendimiento en grano a la densidad de plantas. El objetivo del trabajo fue estudiar en la región central de Córdoba, Argentina, el efecto de la fecha y densidad de siembra sobre la determinación del rendimiento y sus componentes. Los experimentos fueron conducidos durante 1995/96 y 1996/97 incluyendo diferentes fechas de siembra (octubre a diciembre) y densidades de plantas (3,7 a 15,2 pl m⁻²) con el híbrido Morgan-370. El número de granos por m² fue máximo en la mayor densidad en siembras de octubre, pero en siembras tardías lo fue a densidades intermedias. Siembras tardías y altas densidades redujeron el número de espigas por planta y de granos por espiga, pero no afectaron la morfogénesis de espiguillas en la espiga superior. La cantidad de radiación fotosintéticamente activa interceptada durante los 31 días alrededor de floración explicó la variación en el número de granos por planta. Las siembras de diciembre deprimieron el rendimiento. En siembras tempranas es necesario un mayor número de plantas por m² para obtener altos rendimientos, pero no en las tardías.

Palabras clave: maíz, fecha de siembra, densidad de siembra, rendimiento, número de granos.

Cantarero, M.G., S.F. Luque y O.J. Rubiolo, 2000. Sowing date and plants density effect on kernel number and grain yield in a maize hybrid in the central region of Córdoba (Argentina). Agriscientia XVII : 3-10

SUMMARY

The change in the sowing date of maize modifies the response in grain yield to the plant density. The objective of this work was to study in the central region of Córdoba, Argentina, the effect of sowing date and plant density on the determination of the yield and its components. The experiments were conducted in the field in 1995/96 and 1996/97 and included different sowing dates (October to December) and plant densities (3,7 to 15,2 pl m⁻²) with the Morgan-370 hybrid. Late sowings and high densities reduced the number of ear per plant and grains per ear, but did not affect the spikelet morphogenesis in the upper ear. The quantity of photosynthetic active radiation intercepted during the 31 days around silking explained the variation of the number grains per plant. December sowing decrea-

se the yield. At early sowing dates is necessary a higher number of plants per m^2 in order to get high yields but not at late sowing dates.

Key words: maize, sowing date, plant density, grain yield, kernel number.

Cantarero, M.G., S.F. Luque y O.J. Rubiolo. Cereales y Oleaginosas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. Av. Valparaíso s/n. Ciudad Universitaria. 5000 Córdoba, Argentina. E-mail: mcantare@agro.uncor.edu

INTRODUCCIÓN

La productividad de un cultivo está determinada por su potencial genético y el impacto del ambiente sobre su capacidad de crecimiento y partición de materia seca hacia destinos reproductivos (Gifford *et al.*, 1984; Muchow *et al.*, 1990; Andrade *et al.*, 1993). El rendimiento por unidad de superficie está condicionado por el número de individuos capaces de producir rendimiento en grano. La biomasa producida por cada individuo refleja la disponibilidad de recursos durante toda la estación de crecimiento y se asocia con su rendimiento (Vega *et al.*, 1997).

En el cultivo de maíz, el número de granos por m^2 es el componente que mayor asociación tiene con el rendimiento final, variando más que el peso del grano en respuesta a las fluctuaciones en las condiciones ambientales (Fischer & Palmer, 1984; Cirilo & Andrade, 1994). El número de granos se determina alrededor de floración (Otegui & Bonhomme, 1998) y se lo ha correlacionado con la intercepción de luz (Andrade *et al.*, 1993; Kiniry & Knieval, 1995), la fotosíntesis (Edmeades & Daynard, 1979) y el crecimiento del cultivo (Hawkins & Cooper, 1981; Andrade *et al.*, 1999) durante el período crítico mencionado.

El número final de granos por unidad de superficie resulta del número de plantas con espigas fértiles y del número de granos por espiga, pudiendo ambos componentes ser afectados tanto por modificaciones en la fecha de siembra (Otegui & Melón, 1997) como por la densidad de plantas (Hashemi-Dezfouli & Herbert, 1992; Otegui, 1997). Diversos trabajos destacan que la detención del desarrollo de las espigas tiene lugar durante el período inmediatamente anterior a la floración y durante ésta (Prine, 1971; Tollenaar, 1977). Por otro lado, el número de granos que sobrevive en la espiga guarda estrecha relación con las condiciones de crecimiento del cultivo en las 2 o 3 semanas posteriores a la fecundación (Cirilo & Andrade, 1994). El número de espiguillas fertilizadas que sobrevive es más importante que

el número total de espiguillas diferenciadas (Hawkins & Cooper, 1981; Goldsworthy, 1984; Cirilo & Andrade, 1994). La supervivencia de estructuras reproductivas en maíz estaría relacionada con el suministro de asimilados alrededor de floración. Retrasos de la fecha de siembra ubican la floración del cultivo en momentos de menores niveles de radiación solar, por lo que esta situación es desventajosa para lograr una mayor fijación de granos en el cultivo, al limitar la disponibilidad de recursos por planta (Cirilo & Andrade, 1994). Debido a lo señalado, la densidad óptima para obtener un elevado rendimiento en grano disminuye a medida que se retrasa la siembra (Andrade *et al.*, 1996). Estos autores, en Balcarce, observaron que la variación en la fecha de siembra del cultivo modifica la respuesta del rendimiento en grano de maíz a la densidad de plantas, a través de su efecto sobre el crecimiento y la partición de la materia seca producida. En nuestro país, no se poseen antecedentes de estudios de estos efectos en una latitud menor, donde la variación de la fecha de siembra implica menores cambios en radiación solar. Por lo tanto, es de esperar un menor impacto negativo sobre la generación del rendimiento del cultivo de maíz en la región central de Córdoba.

En la región central de Córdoba las condiciones ambientales para el cultivo de maíz presentan marcadas deficiencias hídricas durante toda la estación de crecimiento. Las siembras de principios de primavera tienen problemas para lograr un buen establecimiento del cultivo debido a la escasez de precipitaciones, que impiden realizar la siembra en forma adecuada. Si la siembra se demora hasta noviembre, la floración del cultivo ocurre en momentos donde se producen las mayores deficiencias hídricas (enero). Como consecuencia los productores retrasan la siembra hacia el comienzo del verano, para reducir el riesgo de coincidencias de sequías intensas con la floración del cultivo. Esta situación puede modificarse substancialmente si la práctica de riego es empleada. Por esta razón, tanto la épo-

ca y la densidad de siembra deben ajustarse a este nuevo manejo tecnológico.

El objetivo de este trabajo fue estudiar, en condiciones de cultivo a campo con riego y fertilización, los efectos de la fecha y densidad de siembra sobre la determinación del número de granos y el rendimiento, para un híbrido de maíz, en el ambiente de la región central de Córdoba.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos fueron conducidos en el Campo Experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina (31° 19' LS; 64° 13' LO), durante las campañas 1995/96 y 1996/97. Se realizaron ensayos donde se probaron diferentes fechas y densidades de siembra (tabla 1). Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado con tres repeticiones, ya que no se detectaron factores de variación que justifiquen la realización de bloques en el diseño del experimento en ninguno de los dos años.

Se sembró el híbrido comercial Morgan 370, de tres vías, y los tratamientos surgieron de la combinación factorial entre fechas y densidades de siembra utilizadas en cada año. Las unidades experimentales fueron de 5 y 7 surcos para la campaña 1995/96 y 1996/97, respectivamente, de 7 m de largo y distanciados a 0,70 m. Durante la campaña 1995/96 las parcelas se utilizaron además para la determinación de otras variables ajenas a este experimento; esto obligó a reducir el tamaño efectivo de las parcelas para la toma de muestras en esa campaña. Se aplicaron 50 kg ha⁻¹ de N a la siembra y 100 kg ha⁻¹ de N en el estado de 6 hojas liguladas. Los análisis de suelo no justificaron la fertilización con P. En ambos años, se estimó un consumo semanal de agua de 35 mm (Dardanelli, comunicación personal, 1995), reponiéndose semanalmente por

aspersión una lámina de agua equivalente a la diferencia entre el aporte de las precipitaciones y el consumo estimado. Las malezas e insectos fueron adecuadamente controlados. No se presentaron síntomas de enfermedades.

La fecha de floración se determinó sobre 10 plantas por parcela, y se consideró que se alcanzó ese estado cuando el 50% de las plantas observadas había emitido sus estigmas. En floración, se contó el número de hileras y de espiguillas diferenciadas por hilera (NEH) sobre 2 hileras de espigas superiores de 5 plantas por parcela. A cosecha se contó de igual manera el número de hileras y de granos por hilera (NGH), sobre 5 espigas por parcela. El número potencial y final de espiguillas o granos en la espiga superior fue obtenido como el producto entre el número de hileras y el NEH o NGH respectivos para cada momento de muestreo.

Para la determinación del rendimiento se cosecharon 3 y 5 m² por parcela para la campaña 1995/96 y 1996/97 respectivamente. Las muestras fueron tomadas de los surcos centrales de cada parcela dejando 1 m de bordura hacia cada extremo. El número de granos por m² (NG) fue calculado como el cociente entre el rendimiento (sobre base seca) y el peso individual del grano. Esta última variable fue determinada promediando dos muestras de 200 granos cada una y secadas en estufa de aire forzado durante 10 días. El número de granos por planta (NGP) se calculó dividiendo el NG por la densidad de siembra de cada tratamiento. Los valores de la materia seca total en madurez fisiológica e índice de cosecha, se obtuvieron de una muestra de 5 plantas por parcela a partir de la muestra para rendimiento, se secaron a 60 °C durante 10 días y se pesaron.

Los registros diarios de radiación global fueron obtenidos en el Centro de Investigaciones Acústicas y Luminotécnicas (C.I.A.L., Universidad Nacional de Córdoba), y se transformaron a radiación fotosintéticamente activa (RFA) multiplicando por 0,45 (Monteith, 1965). Semanalmente se determinó la fracción de RFA interceptada por el cultivo (fRFAi) durante el período crítico para la determinación del número de granos (31 días centrados alrededor de floración). La fRFAi fue calculada como $[1 - (I/I_0)]$, donde I = RFA incidente inmediatamente por debajo del estrato inferior de hojas activas, e I_0 = RFA incidente por encima del tope del canopeo. Los valores de I e I_0 fueron obtenidos con un sensor lineal cuántico (Laboratorio de Investigación Aplicada y Desarrollo en Electrónica de la Universidad Nacional de Córdoba). Las determinaciones se realizaron usando la técnica descrita por Gallo & Daughtry (1986), para el empla-

Tabla 1. Resumen de experimentos y tratamientos.

Campaña	Fecha de siembra	Densidad de siembra
		pl m ⁻²
1995/96	14 noviembre	6,11
	28 diciembre	6 - 8 - 11
1996/97	17 octubre	3,7 - 7,4 - 15,2
	14 noviembre	3,7 - 7,4 - 15,2
	17 diciembre	3,7 - 7,4 - 15,2

Tabla 2. Rendimiento (0% de humedad), número de granos por m², número de espigas por planta, número de granos por planta, materia seca aérea en madurez fisiológica (MF), índice de cosecha y peso del grano para el híbrido Morgan 370, sembrado en diferentes fechas y densidad de plantas durante dos años.

Fecha de siembra	Densidad ¹	Rendimiento	Número de granos por m ²	Número de espigas por planta	Número de granos por planta	Materia Seca en MF	Índice de Cosecha	Peso por grano
	pl m ²	g m ²	granos m ²			g m ²		mg
				1995/1996				
Nov	6	1010	2991	1,08	498	2052	0,50	343
	11	1031	3471	1,01	316	2212	0,46	298
Dic	6	756	2420	1,01	403	2111	0,36	312
	8	760	2548	0,99	319	2299	0,34	300
	11	690	2403	0,90	218	2334	0,30	287
DMS†		134	344	0,06	37	ns	0,06	24
				1996/1997				
Oct	3,7	745	2207	1,47	599	1636	0,46	338
	7,4	1122	3487	1,00	473	2522	0,45	322
	15,2	1090	4269	0,93	270	2777	0,39	253
Nov	3,7	704	2126	1,27	584	1604	0,44	331
	7,4	1086	3502	1,07	475	2625	0,42	310
	15,2	888	3124	0,87	214	3068	0,27	287
Dic	3,7	562	1830	1,13	494	1470	0,39	307
	7,4	686	2438	0,80	322	1816	0,38	281
	15,2	536	1826	0,60	118	1937	0,28	293
DMS†		168	554	0,15	35	297	0,05	14

†Diferencia mínima significativa al 5% para comparar entre tratamientos.
ns: no significativo.

zamiento del sensor. El valor de fRFAi entre mediciones se estimó mediante interpolación lineal. La cantidad diaria de RFA interceptada (RFAi) por el canopeo se calculó a partir del producto entre la RFA incidente diaria y la fRFAi diaria correspondiente a cada parcela.

Las medias de los tratamientos fueron comparadas por la diferencia mínima significativa (DMS) cuando el análisis de varianza arrojó diferencias significativas (Steel & Torrie, 1980). Las relaciones entre las variables observadas fueron analizadas mediante análisis de regresión y correlación. El nivel de significancia utilizado fue $P < 0,05$ en todos los análisis.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante la campaña 1995/96 no se detectaron diferencias significativas en la biomasa total producida por unidad de superficie en madurez fisio-

lógica entre épocas y densidades de siembra, aunque hubo una tendencia a incrementarse a medida que se aumentó la densidad. En 1996/97 las diferencias fueron significativas entre épocas y densidades, y se observó un incremento a medida que aumentó la densidad en cada fecha de siembra (tabla 2). Las interacciones entre fecha y densidad de siembra para las variables analizadas anteriormente no fueron significativas. Las diferencias observadas en la materia seca total entre los ciclos 95/96 y 96/97 para fechas de diciembre en densidades similares (tabla 2) podrían deberse a algún grado de estrés hídrico ambiental. Según Andrade y Sadras (2000), condiciones de alta demanda evaporativa relacionada con altas temperaturas y radiación, baja humedad relativa del aire y fuertes vientos afectan el crecimiento de los cultivos. Condiciones ambientales de este tipo son frecuentes en la región central de Córdoba, que se caracteriza además por una gran variabilidad interanual en

la intensidad de estos factores. En consecuencia este tipo de consideraciones deberían tenerse en cuenta en investigaciones futuras.

El rendimiento de las siembras de diciembre fue significativamente inferior que el de las más tempranas, pero no se observaron diferencias entre las siembras de octubre y noviembre (tabla 2). En la siembra temprana de la campaña 1996/97, el rendimiento disminuyó significativamente por debajo de $7,4 \text{ pl m}^{-2}$, pero no se modificó con posteriores aumentos de la densidad, mientras que en las siembras de diciembre no hubo respuesta a la densidad en ninguna de las dos campañas (tabla 2). El índice de cosecha disminuyó al retrasar la fecha de siembra en ambas campañas, pero el aumento de la densidad lo redujo significativamente sólo en la densidad más alta de la campaña 1996/97 en cada fecha de siembra (tabla 2). Las interacciones entre fecha y densidad de siembra para las variables analizadas anteriormente no fueron significativas. La falta de respuesta a la variación de la densidad de plantas en 1995/96 sugiere que, para esas fechas de siembra, el rango de densidades empleadas no produjo un estrés de intensidad suficiente para limitar la expresión del rendimiento o afectar la partición de asimilados.

La biomasa producida por planta (cociente entre la materia seca en madurez fisiológica por unidad de superficie y la densidad de plantas, tabla 2), sólo se redujo para las siembras de diciembre; en cambio, el aumento de la densidad de plantas siempre redujo la biomasa producida por planta en cada fecha de siembra de ambas campañas. Esto indica una menor disponibilidad de recursos por individuo para la siembra más tardía y ante incrementos de la densidad de plantas. El rendimiento por planta se asoció linealmente ($y=0,5x-28,9$; $r^2 = 0,91$; $P= 0,001$) con la biomasa por planta. No obstante, la baja plasticidad vegetativa y reproductiva del maíz frente a condiciones más extremas (Andrade *et al.*, 1996) no es reflejada por este tipo de modelos. La ordenada al origen negativa del modelo indica un intercepto en el eje x mayor que cero. El valor de intercepto estimado por este modelo señaló un umbral de producción de biomasa de $57,8 \text{ g pl}^{-1}$ para comenzar a producir rendimiento en grano. Este valor resulta muy inferior al umbral de 100 g pl^{-1} reportado por Vega *et al* (1997) obtenido a través de modelos curvilíneos. Cuando se ajustó una función logarítmica al conjunto de datos obtenidos en este trabajo, se halló un valor umbral de biomasa por planta cercano a 100 g (figura 1). Si bien este ajuste resulta de mayor sentido biológico que el modelo lineal, explicó menos la variabilidad de los datos ($r^2 = 0,87$; $P= 0,001$), debido a que se carece de información obtenida bajo con-

diciones más extremas que las evaluadas en este ensayo y de puntos intermedios que indiquen el inicio de la prolificidad de este híbrido. Estos datos permitirían el ajuste de modelos más complejos de mayor sentido fisiológico para la especie, como los de doble hipérbola (Tollenaar *et al.*, 1992) en donde la segunda hipérbola indica la aparición de una segunda espiga y además reflejan mejor la baja plasticidad de la especie (figura 1).

El rendimiento en grano se asoció positivamente con el número de granos por unidad de superficie ($r^2 = 0,88$; $P= 0,001$). El retraso de la fecha de siembra en la primera campaña produjo disminuciones del NG, mientras que en el segundo año tales disminuciones ocurrieron sólo en la siembra de diciembre. Reducciones en el NG como consecuencia de retrasos en la fecha de siembra han sido reportados por Cirilo y Andrade (1994) para un cultivo de maíz conducido sin limitaciones hídricas ni nutricionales en el sudeste bonaerense, para siembras efectuadas desde octubre a diciembre. A diferencia de lo hallado por estos autores, en la región central de Córdoba el efecto negativo del retraso de la fecha de siembra se evidenció únicamente para las siembras de diciembre. Esta diferencia entre regiones podría explicarse a través de las variaciones de los niveles de radiación incidente durante el período crítico del cultivo. Mientras que en Balcarce la radiación global incidente se reduce a razón de $0,8 \text{ Mj m}^{-2}$ cada 10 días a partir

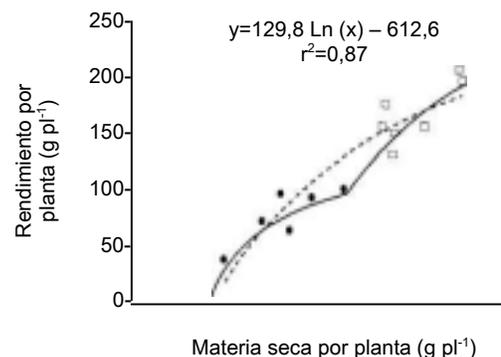


Figura 1. Relación entre el rendimiento por planta y la materia seca por planta a madurez fisiológica para el híbrido Morgan 370, durante las campañas 1995/96 y 1996/97. Cada punto representa el promedio de tres repeticiones. Puntos llenos: rendimiento por planta de individuos con prolificidad < 1 . Puntos vacíos: rendimiento por planta de individuos con prolificidad > 1 . La línea discontinua muestra el ajuste realizado para ambos conjuntos de datos. Las líneas continuas representan el ajuste realizado a mano alzada de un modelo bilineal para los puntos correspondientes a valores de prolificidad < 1 (línea gruesa) y con prolificidad > 1 (línea delgada).

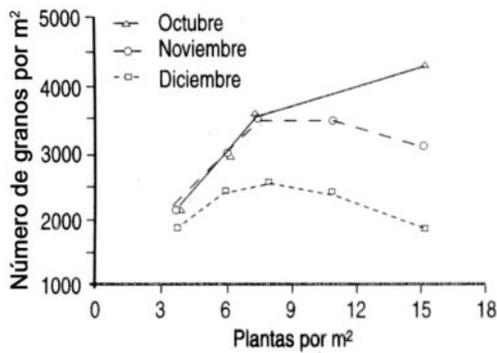


Figura 2. Relación entre el número de granos por m² y la densidad de plantas por m² para tres fechas de siembra durante dos ciclos de crecimiento. Cada punto representa el promedio de 3 repeticiones. Las barras verticales indican el error estándar de la media.

del 1° de enero ($r^2 = 0,94$, $P = 0,001$; INTA Balcarce, promedio de la serie climática 1970-1999), en la región central de Córdoba disminuciones similares recién ocurren a partir de febrero (CIAL UNC, promedio de la serie climática 1984-1998); esto coincide con la ocurrencia del período crítico de siembras realizadas a partir de la segunda mitad de diciembre. Por lo tanto en Córdoba el retraso de la fecha de siembra reduce el rendimiento en grano a partir de siembras de diciembre, por menor oferta radiativa durante el período crítico de determinación del NG. La respuesta del NG a la densidad de plantas dependió de la fecha de siembra. El mayor NG, se obtuvo en la más alta densidad de la siembra más temprana, octubre, pero en siembras más tardías los máximos valores se obtuvieron con densidades más bajas (tabla 2). En consecuencia, la densidad óptima para lograr el mayor número de granos disminuye a medida que se retrasa la fecha de siembra (figura 2).

El NG que se obtiene a la cosecha resulta del número de plantas con espigas fértiles y del número de granos por espiga. El número de espigas por planta disminuyó cuando se atrasó la fecha de siembra, y el efecto fue más acentuado cuando se asoció con aumentos de la densidad de siembra (tabla 2). Las mayores diferencias se encontraron en el segundo año, dada la mayor amplitud en el rango de densidades utilizadas. Prine (1971) y Tollenaar (1977) destacan que la detención del desarrollo de las espigas ocurre durante el período inmediatamente anterior a la floración y durante ésta. La provisión de asimilados a la espiga durante el período de prefloración está asociada con el aborto de espigas (Edmeades & Daynard, 1979). La RFAi acumulada

por planta durante los 15 días previos a la floración, disminuyó al incrementar la densidad de plantas y al retrasar la fecha de siembra (datos no mostrados), y se relacionó positivamente con el número de espigas por planta en madurez ($r^2 = 0,78$; $P = 0,001$). Por lo tanto el efecto combinado del retraso de la fecha de siembra y el aumento en la densidad afectaron la continuidad del desarrollo de las espigas durante esta etapa.

El número máximo de espiguillas diferenciadas en la espiga superior en floración tendió a disminuir al aumentar la densidad de plantas, aunque las diferencias no fueron significativas (tabla 3). Se ha demostrado que cambios en la fecha de siembra (Otegui, 1997) o en la densidad de siembra (Otegui & Melón, 1997) no afectan la morfogénesis de estruc-

Tabla 3: Número de espiguillas en la espiga superior en floración (NEE) y número de granos en la espiga superior en madurez fisiológica (NGE) para el híbrido Morgan 370 sembrado en diferentes fechas y densidades de siembra durante dos años.

Fecha de siembra	Densidad pl m ⁻²	Espiguillas por espiga	Granos por espiga
1995/96			
Nov	6	682	461
	11	639	312
Dic	6	647	399
	8	645	322
DMS†	11	640	244
		ns	42
1996/97			
Oct	3,7	679	518
	7,4	665	449
	15,2	644	266
Nov	3,7	628	504
	7,4	658	505
	15,2	vp	214
Dic	3,7	672	489
	7,4	668	319
	15,2	635	120
DMSt		ns	35

† Diferencia mínima significativa al 5% para comparar medias de tratamientos.

ns: no significativo, vp: valor perdido.

turas reproductivas. Tanto el atraso en la época de siembra como el aumento de la densidad de plantas provocaron grandes caídas en el número de granos en la espiga superior (tabla 3). Esto indica que la supervivencia de granos fue el factor determinante del número de granos por espiga. El número de espiguillas fertilizadas que alcanzan la cosecha se determina en un período inmediatamente posterior a la floración del cultivo, y está directamente relacionado con la provisión de asimilados a la espiga en esa etapa (Tollenaar, 1977; Cirilo & Andrade, 1994). El NGP disminuyó con el aumento de la densidad, y esta disminución fue más importante en siembras tardías comparadas con las más tempranas (37% vs. 46% y 55% vs. 76%, para la campaña 1995/96 y 1996/97, respectivamente).

Entonces, tanto los períodos inmediatamente anterior y posterior a la floración fueron críticos para la determinación del NGP, al afectar la supervivencia de espigas en pre floración y de los granos en pos floración. El NGP se asoció ($r^2=0,87$; $P = 0,001$) con la cantidad de RFAi acumulada por planta durante un período de 31 días centrados en floración a través de una relación curvilínea (figura 3). Este tipo de respuestas concuerdan con otras reportadas en la literatura que muestran la variación del NGP ante cambios en la oferta de recursos por planta (Tollenaar *et al.*, 1992; Luque *et al.*, 1997; Andrade & Cirilo, 1998; Andrade *et al.*, 1999). Edmeades *et al.* (1993) y Luque *et al.* (1998) mencionan que cuando los recursos por planta disminuyen, la espiga sufre un relegamiento con relación a otros órganos de la planta (panoja), que se traduce en un retraso en la emergencia de los estigmas. En nuestro trabajo se observó un retraso en la emergencia de estigmas de 6 días en el segundo año, cuando la densidad se incrementó de 3,7 a 15,2 plantas m^2 en la siembra de diciembre (datos no mostrados).

A igual densidad de plantas, el retraso de la fecha de siembra produjo disminuciones del peso de los granos, a excepción de la más alta densidad en el segundo año, donde este componente aumentó con tales retrasos (tabla 2). El ambiente radiativo más favorable al que se ve sometido el cultivo en siembras tempranas, permite fijar un mayor número de granos por planta, aun en altas densidades, en las cuales el peso del grano disminuye. Esto podría ser explicado por una baja relación fuente-destino que no permite sostener la demanda de fotoasimilados por grano requeridos para su llenado en altas densidades, lo que determina finalmente su bajo peso. Por el contrario, la siembra tardía (diciembre 1996/97, tabla 2), dispone de un ambiente lumínico subóptimo y por lo tanto se fija un menor número de granos. Esta situación determinaría una mayor rela-

ción fuente-destino que permite a los granos que se fijan en la más alta densidad alcanzar valores de peso por grano similares a los obtenidos en la más baja densidad, e incluso superiores a los logrados en la más alta densidad de la siembra temprana.

En conclusión, las variaciones en el rendimiento se asociaron a cambios en el número de granos por metro cuadrado, el que dependió más del número de espigas por planta y de granos por espiga que sobreviven después de la floración que del número de espiguillas que se diferencian por espiga. La variación del NGP pudo ser explicada por la RFAi por planta en un período de 31 días alrededor de floración, lo que indica que el suministro de asimilados a la espiga en ese período es crítico para la supervivencia de los granos. Para las condiciones ambientales de la región central de Córdoba y con el híbrido Morgan 370 bajo riego y fertilización, el retraso de la fecha de siembra a partir de diciembre ocasionó disminuciones significativas del rendimiento. Un mayor número de plantas por m^2 fue necesario en las siembras tempranas para obtener altos rendimientos, pero no se observó respuesta a la densidad en siembras tardías. Sin embargo, lo presentado en la figura 2 sugiere que la densidad óptima para esa fecha de siembra ocurre a valores menores que los empleados en las fechas de siembra más tempranas. No obstante, cambios en la densidad y fechas de siembra de otros genotipos puede ocasionar diferentes respuestas que hacen necesarios estudios posteriores.

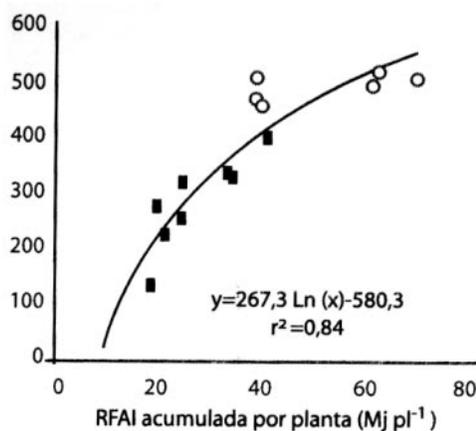


Figura 3. Relación entre el número de granos por planta y la RFAi interceptada acumulada durante un período de 31 días centrados en la floración, para el híbrido Morgan 370, durante las campañas 1995/96 y 1996/97. Cada punto representa el promedio de tres repeticiones. Puntos llenos: número de granos por planta de individuos con prolificidad < 1. Puntos vacíos: número de granos por planta de individuos con prolificidad > 1.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, F.H., A.G. Cirilo, S.A. Uhart and M.E. Otegui, 1996. *Ecofisiología del cultivo de maíz*. La Barrosa Ed. Dekalb Press., CERBAS, FCA-UNMP.
- Andrade, F.H. and A.G. Cirilo, 1998. Relationship between kernel number and plant growth rate in maize: nitrogen and water deficiencies. *International Workshop on Physiological Bases for Maize Improvement*. Eds. M.E. Otegui & G.A. Slafer. Buenos Aires. Argentina, pp. 63-70.
- Andrade, F.H. y V.O. Sadras, 2000. Efectos de las sequías sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos. En *Bases para el Mejoramiento del Maíz, el Girasol y la Soja*. Eds. Andrade, F.H. y Sadras, V.O.. Editorial Médica Panamericana, Buenos Aires. Argentina, pp. 173-206.
- Andrade, F.H., S.A. Uhart and M.I. Frugone, 1993. Intercepted radiation at flowering and kernel number in maize: Shade versus plant density effects. *Crop Science*. 33:482-485.
- Andrade, F.H., C. Vega, S.A. Uhart, A.G. Cirilo, M. Cantarero and O. Valentinuz, 1999. Kernel number determination in maize. *Crop Science* 39:453-459.
- Cirilo, A.G. and F.H. Andrade, 1994. Sowing date and maize productivity. II. Kernel number determination. *Crop Science*. 34: 1044-1046.
- Edmeades, G.O. and T.B. Daynard, 1979. The relationship between final yield and photosynthesis at flowering in individual maize plants. *Canadian Journal of Plant Science* 59:585-601.
- Edmeades, G.O., J. Bolaños, J.M. Hernández and S. Bello, 1993. Causes for silk delay in low land tropical maize population. *Crop Science*. 33:1029-1035.
- Fischer, K.S. and F.E. Palmer, 1984. Tropical maize. *In: The physiology of tropical field crops*. Ed. by P.R. Goldsworthy and N.M. Fisher.
- Gallo, K.P. and C.S.T. Daughtry, 1986. Techniques for measuring intercepted and absorbed photosynthetically active radiation in corn canopies. *Agronomy Journal*. 78:752-756.
- Gifford, R.M., J.H. Thorne, W.D. Hitz and R.T. Giaquinta, 1984. Crop productivity and photoassimilate partitioning. *Science*, 225:801-808.
- Goldsworthy, P.R., 1984. Crop growth and development the reproductive phase. *In: The physiology of tropical field crops*. Ed. by P.R. Goldsworthy and N.M. Fisher.
- Hashemi-Dezfouli, A. and S.J. Herbert, 1992. Intensifying plant density response of corn with artificial shade. *Agronomy Journal*. 84:547-551.
- Hawkins, R.C. and J.M. Cooper, 1981. Growth development and grain yield of maize. *Explore of Agricultura*. 17:203-207.
- Kiniry, J.R. and D.P. Knievel, 1995. Response of maize seed number to solar radiation intercepted soon after anthesis. *Agronomy Journal*. 87:228-234.
- Luque, S.F., A.G. Cirilo, M.E. Otegui y F.H. Andrade, 1997. Caracteres fisiológicos asociados al mejoramiento de maíz en la Argentina en los últimos 30 años. *Maíz VI Congreso Nacional*. AIANBA, Pergamino, Argentina. Tomo II, pp. 270-277.
- Luque, S.F., A.G. Cirilo, M.E. Otegui and F.H. Andrade. 1998. Floral synchrony in maize: changes introduced with genetic improvement in Argentina. *International Workshop on Physiological Bases for Maize Improvement*. Eds. M.E. Otegui & G.A. Slafer. Buenos Aires. Argentina, pp. 104-105.
- Monteith, J.L., 1965. Radiation and crops. *Experimental Agriculture*. 1:241-251.
- Muchow, R.C, T.R. Sinclair and J.M. Bennet, 1990. Temperature and solar radiation effects on potential maize yield across locations. *Agronomy Journal* 82:338-343.
- Otegui, M.E., 1997. Kernel set and flower synchrony within the ear of maize: II. Plant population effects. *Crop Science*. 37:448-455.
- Otegui, M.E. and R. Bonhomme, 1998. Grain yield components in maize I. Ear growth and kernel set. *Field Crops Research*. 56: 247-256.
- Otegui, M.E. and S. Melón, 1997. Kernel set and flower synchrony within the ear of maize: I. Sowing date effects. *Crop Science*. 37:441-447.
- Prine, G.M., 1971. A critical period for ear development in maize. *Crop Science*. 11:782-786.
- Steel, R.G.D. and J.H. Torrie, 1980. Comparaciones múltiples, pp. 166-187. *In Bioestadística, principios y procedimientos*. McGraw Hill, New York.
- Tollenaar, M., 1977. Sink-source relationships during reproductive development in maize: A review. *Maydica*. 23:49-75.
- Tollenaar, M., L.M. Dwyer and D.W. Stewart, 1992. Ear and kernel formation in maize hybrids representing three decades of grain yield improvement in Ontario. *Crop Science*. 32:432-438.
- Vega, C.R., O.R. Valentinuz, S.A. Uhart y F.H. Andrade, 1997. Rendimiento en grano por planta y estabilidad del índice de cosecha en función del tamaño de planta en soja, girasol y maíz. *Maíz VI Congreso Nacional*. AIANBA, Pergamino, Argentina. Tomo II, pp. 20-24.