

BIOMASA AEREA Y RADICAL EN HÍBRIDOS DE MAÍZ CON SENESCENCIA RETARDADA CON DOS ARREGLOS ESPACIALES Y RIEGO

SHOOT AND ROOT BIOMASS IN CORN HYBRIDS WITH DELAYED SENESCENCE WITH TWO SPATIAL ARRANGEMENTS AND IRRIGATION

Silvina Inés Golik¹, Hugo Martín Pardi², Horacio Abel Acciaresi^{1,3}

¹ Cerealicultura, Departamento de Tecnología Agropecuaria y Forestal, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Casilla de Correo (CC) 31, 1900 La Plata, Argentina.

² Climatología y Fenología Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales UNLP, CC 31, 1900 La Plata, Argentina.

³ Comisión de Investigaciones Científicas, Provincia de Buenos Aires, Argentina.

* Autor para correspondencia E-mail: silvinagolik@yahoo.com.ar

RESUMEN

Se ha determinado que los híbridos de maíz (*Zea mays*) con senescencia retardada (SG: stay green) tienen ventajas respecto de los híbridos con senescencia normal. El objetivo de este estudio fue evaluar la productividad aérea y radical de híbridos con senescencia retardada y senescencia normal, bajo dos arreglos espaciales, y con o sin riego durante el período de llenado de granos. En los estados de desarrollo R^2 (cuaje) y R_6 (madurez fisiológica) se determinaron las biomásas aérea y radical mediante la recolección de las muestras y su posterior secado hasta peso constante. La producción de granos se determinó en R_6 . En la primera temporada se encontró que el híbrido SG produjo mayor biomasa aérea (2880 g m⁻² en R_6), mayor biomasa radical en ambos arreglos espaciales, tanto con riego como sin riego, y rendimiento (AX 892: 1384 g m⁻²) respecto al híbrido senescente. En la segunda temporada el híbrido SG también produjo mayor biomasa aérea, biomasa radical y rendimiento (AX 882: 1247 g m⁻²). Se concluyó que la utilización de híbridos SG favorecen la obtención de sistemas productivos extensivos con un uso racional del agua edáfica, contribuyendo así a la sustentabilidad del agroecosistema. El arreglo rectangular presentó mayor producción, y la disponibilidad hídrica durante todo el ciclo del cultivo aumentó el potencial de rendimiento de los híbridos stay green.

Palabras clave: *Zea mays*, stay green, riego, rendimiento.

ABSTRACT

It has been determined that in maize (*Zea mays*) hybrids with delayed senescence (SG: stay green) have advantages over hybrids with senescence in early stages of grain formation. The objective of this study was to evaluate the performance of hybrids SG and with normal senescence, under two conditions of spatial arrangement, with and without irrigation during the grain filling period. In R_2 (blister) and R_6 (physiological maturity), shoot and root biomass were determined by collecting samples and then drying to constant weight. Grain yield was determined in R_6 . For the first season it was found that the SG hybrid produced more biomass (2880 g m⁻² in R_6), greater root biomass in both

spatial arrangements, both with and without irrigation (AX 892: 1384 g m⁻²) compared to senescent hybrid. For the second season the SG hybrid had greater biomass, root biomass and yield (AX 882: AX 1247 g m⁻²) versus the senescent hybrid. It was concluded that SG hybrids favor extensive production systems with a rational use of soil water, contributing to agroecosystem sustainability. The rectangular arrangement had more productivity, and water availability throughout the crop cycle increased the yield potential of SG hybrids.

Key words: *Zea mays*, stay green, irrigation, yield.

INTRODUCCIÓN

Uno de los mayores desafíos relacionados con la escasez de agua a nivel mundial, es mejorar su eficiencia de uso en la agricultura, no sólo para mantener el crecimiento de la productividad sino también para permitir la redistribución del recurso desde los sistemas productivos hacia usos urbanos (Pinstруп y Rosegrant, 2001; UNESCO, 2003). Asimismo, la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, parcialmente causada por el masivo uso de fertilizantes que liberan iones móviles en la solución del suelo, constituye uno de los mayores problemas que enfrentan los países latinoamericanos respecto del uso de los recursos hídricos y edáficos (CEPAL, 1999).

En Argentina, con el proceso de intensificación de la agricultura registrado a partir de 1970 de la mano del cultivo de soja (*Glycine max*), aumentaron los procesos de degradación de los suelos con un progresivo deterioro de la capacidad productiva, incremento de los riesgos de sequía, mayores costos de producción y descenso de los rendimientos en tierras degradadas (Casas, 2001).

El cultivo de maíz en la rotación tiene una contribución sustancial al funcionamiento y mantenimiento de la calidad de los recursos y potencial productivo de los suelos (Satorre, 2005).

Entre el 40 y el 100% del aumento del rendimiento en maíz en los últimos 50 años se debe al mejoramiento genético (Tollenaar, 1989; Duvick, 1992). Dicho mejoramiento está caracterizado por una mayor eficiencia en la captura y uso de los recursos ambientales y nutricionales por parte de la planta. En maíz la senescencia se inicia antes que el área foliar se encuentre completamente desarrollada (etapas previas a la floración), y progresa a una tasa creciente durante el periodo de llenado del grano, coincidiendo este periodo con la senescencia masiva del follaje (Muchow y Carberry, 1989; Lafarge y Hammer, 2002). Así, el ritmo de senescencia (porcentaje del follaje muerto por día) aumenta sustancialmente a partir de los 500°C día, en coincidencia con el inicio del llenado de los granos (Borrás et al., 2003). La dinámica de la senescencia foliar durante el periodo de llenado de grano puede variar debido a factores ambientales, como deficiencias hídricas,

nutricionales o temperatura (Wolfe et al., 1988; Uhart y Andrade, 1995, He et al., 2004) y/o a variaciones de la relación fuente/destino, esto es, la relación entre el abastecimiento de asimilados y el potencial de los granos para captar dichos asimilados (Valentinuz y Tollenaar, 2004). Se ha determinado en maíz que aquellos híbridos que presentan una mayor relación fuente/destino pueden mantenerse verdes en etapas tardías del periodo de llenado del grano, aspecto que constituye una ventaja respecto de los híbridos que muestran síntomas de senescencia en etapas iniciales de la formación del grano (Rajcan y Tollenaar, 1999).

Es importante destacar que los sistemas de producción de maíz en Argentina han experimentado importantes cambios tecnológicos en los últimos años, buscando optimizar el uso de los recursos ambientales y la producción de granos (Satorre, 2005). La adopción de nuevos patrones de arreglo espacial es uno de los aspectos tecnológicos que se ha modificado de manera importante en el cultivo de maíz (Satorre, 2005). El uso de arreglos espaciales uniformes (similar distancia entre hileras como entre plantas) puede favorecer a los cultivos en la competencia interespecífica a la vez que retrasa el establecimiento de la competencia intraespecífica, tanto por recursos aéreos como subterráneos (Sharrat y Mc Williams, 2005; Acciaresi y Zuluaga, 2006). Sharrat y Mc Williams (2005) determinaron en maíz sembrado en espaciamientos uniformes una mayor uniformidad espacial del sistema radical y de las hojas, aspecto que promovió una mayor eficiencia en el uso de la radiación solar y el agua edáfica. Asimismo, una mejor distribución y mayor funcionamiento de las raíces, junto con una mayor intercepción de la radiación fotosintéticamente activa (RFA), condujeron a una mayor producción de granos en maíz con espaciamientos uniformes (Acciaresi y Zuluaga, 2006). De este modo, teniendo en cuenta la difusión que se ha observado en la variación de los arreglos espaciales en el cultivo, será importante estudiar el comportamiento de los híbridos de maíz con senescencia retardada (SG: stay green) bajo esta nueva modalidad de espaciamiento entre hileras.

En este contexto, híbridos de maíz de alto potencial de rendimiento en un ambiente caracterizado por frecuentes períodos de deficiencias hídricas edáficas, característicos de la pampa húmeda argentina, serían de gran relevancia para el sistema productivo nacional.

De este modo, el objetivo de este estudio fue cuantificar la productividad aérea y radical de híbridos modernos de maíz con senescencia retrasada y de híbridos con senescencia normal, bajo diferentes situaciones de arreglo espacial y disponibilidad hídrica durante el período de llenado de granos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron dos estudios en condiciones de campo, durante las estaciones de crecimiento 2007-2008 y 2008-2009, en la estación experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), La Plata, Argentina (35°S, 58°W), sobre un suelo Argiudol típico con ligeras deficiencias de drenaje interno, con 4,21 % de materia orgánica, 0,21% de N total, 76,6 mg kg⁻¹ de NO₃ y 16,7 mg kg⁻¹ de P asimilable (Bray Kurtz). Las temperaturas y lluvias medias mensuales registradas en ambas estaciones de crecimiento se presentan en la Fig. 1.

El diseño experimental en ambos estudios fue parcelas divididas con tres repeticiones. En 2007-2008 la parcela principal correspondió a los híbridos, la subparcela al arreglo espacial y la

subsubparcela al riego; en tanto en 2008-2009, la parcela principal correspondió a los híbridos y la subparcela al riego. Para la biomasa radical, se agregó como tratamiento la profundidad de las raíces extraídas en ambas campañas, como subsubsubparcela en 2007-2008 y como subsubparcela en 2008-2009.

Se utilizaron dos híbridos simples de maíz, a una densidad de 8 plantas m⁻². El híbrido DK 682 (senescencia normal, no SG) se usó en ambas temporadas, y el híbrido AX 892 (SG) se usó en la temporada 2007-2008, y el híbrido AX 882 (SG) en la temporada 2008-2009; se tuvo que usar otro híbrido SG debido a que la empresa semillera discontinuó la producción del híbrido utilizado el primer año.

En la campaña (temporada) 2007-2008 se estudiaron dos arreglos espaciales: cuadrangular (C) (0,35 m entre hileras y entre plantas) y rectangular (R) (0,70 m entre hileras x 0,25 m entre plantas), manteniendo la misma densidad de plantas. En la segunda temporada se presentaron problemas de establecimiento de plantas, por una falla en la sembradora, por lo que se decidió no evaluar el espaciamiento.

La disponibilidad hídrica se reguló mediante la aplicación de riego complementario. La mitad de las unidades experimentales tuvieron riego (CR) durante todo el ciclo, en tanto la otra mitad (SR) sólo tuvo riego hasta la ocurrencia de la floración femenina, estado R₁ (Ritchie y Hanway, 1982). El sistema de riego utilizado fue por surco, lo que permitió dentro de cada arre-

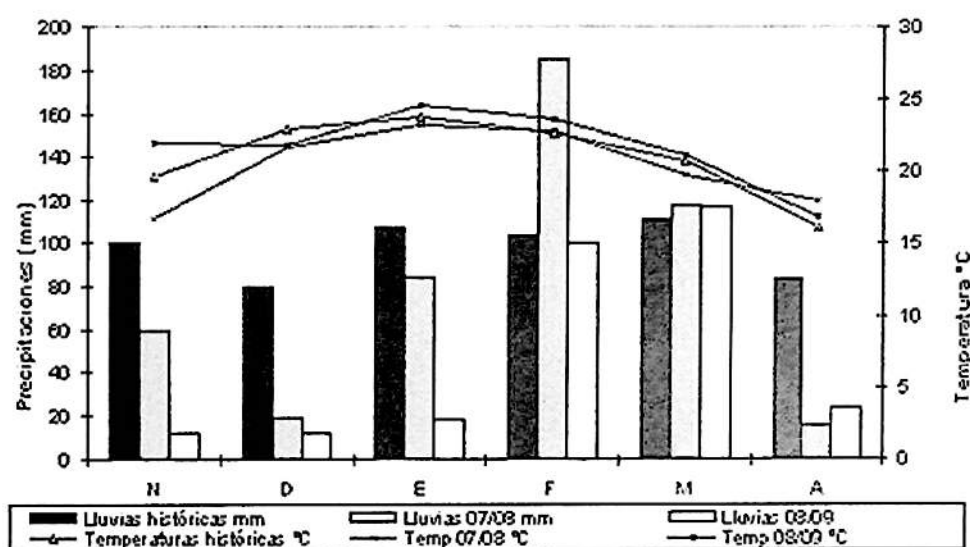


Fig. 1. Precipitación media mensual (mm) y temperatura media mensual del aire (°C) para el período noviembre-abril en ambos períodos de estudio (2007-2008, 2008-2009) y para el período histórico 1990-2005. La Plata, Buenos Aires, Argentina.

Fig. 1. Average monthly precipitation (mm) and mean monthly air temperature (°C) for the period from November to April in both study periods (2007-2008, 2008-2009) and for the historical period from 1990 to 2005. La Plata, Buenos Aires, Argentina.

glo espacial y cada híbrido poder manejar el riego de cada unidad experimental cuando correspondiera (el riego fue un sub-subfactor). Así cada unidad experimental (3,5 m de ancho x 10 m de longitud) recibió los tres tratamientos (híbrido, arreglo espacial, riego/sin riego).

El cultivo se mantuvo libre de malezas mediante la aplicación de atrazina y metolaclor (en preemergencia) y control mecánico a lo largo de su ciclo del cultivo.

La biomasa aérea se determinó con una muestra de cuatro plantas por unidad experimental, en los estados R_2 y R_6 de cuaje y madurez fisiológica, respectivamente (Ritchie y Hanway, 1982). Las plantas fueron cortadas a ras del suelo. El material se secó en estufa a 60°C hasta peso constante, determinando la biomasa aérea ($g\ m^{-2}$).

La biomasa radical se evaluó en los mismos estados fenológicos que la biomasa aérea. Las muestras de suelo se tomaron con un barreno de 8 cm de diámetro y 10 cm de longitud, en el sector medio de la entrehilera, con tres repeticiones por tratamiento. Se tomaron muestras a intervalos de 20 cm, hasta una profundidad de 40 cm (0-20 cm y 20-40 cm). Las muestras se lavaron en una lavadora automática (Delta T Devices, Cambridge, Reino Unido), las cuales se secaron en estufa hasta peso constante, determinándose la biomasa radical ($g\ dm^{-3}$).

La producción de grano se determinó en el estado de madurez fisiológica (R_6) mediante la cosecha manual de todas las mazorcas correspondiente a dos hileras de 7,15 m de longitud ($10\ m^2$), las mismas fueron trilladas y los granos secados en estufa a 60°C hasta peso constante, determinándose el peso de granos por unidad de superficie ($g\ m^{-2}$).

Los resultados fueron procesados mediante ANDEVA para un diseño de parcelas divididas. Debido a la presencia de diferencias significativas entre los años, se realizó un análisis por separado de cada una de las campañas. Las medias se compararon mediante el test de Tukey ($P \leq 0,05$) (Gómez y Gómez, 1984). El análisis fue realizado a través del software estadístico Statgraphics Centurion XVI (StatPoint Technologies, 2009).

RESULTADOS

En ambas campañas (temporadas) la precipitación fue menor, especialmente durante los meses de noviembre, diciembre y enero, respecto a las medias históricas del período para la región. Las temperaturas, a excepción del mes de noviembre resultaron similares a las históricas (Fig. 1).

Biomasa aérea

En la campaña 2007-2008 la biomasa aérea au-

mentó desde el estado R_2 a R_6 con diferencias significativas entre híbridos, siendo mayor para el híbrido AX 892 (SG) en los dos estados analizados (Tabla 1). En relación al arreglo espacial, se registró una mayor producción en el arreglo rectangular que bajo el arreglo cuadrangular. El riego complementario hasta el final del ciclo (CR) produjo una mayor biomasa aérea tanto en R_2 como en R_6 respecto al tratamiento de riego complementario hasta floración femenina (SR). No se registraron interacciones para ninguna de los tratamientos considerados (Tabla 1).

En la campaña 2008-2009, la biomasa aérea presentó diferencias significativas sólo en el estado R_6 . Para los tratamientos de riego sólo hubo diferencias en R_6 , siendo menor la biomasa cuando no se aplicó riego durante el periodo de llenado de granos (Tabla 1).

Producción de grano

En la temporada 2007-2008 la producción de grano resultó mayor para el híbrido AX 892 (SG), en el arreglo espacial rectangular, y con riego complementario en todo el ciclo (CR) (Tabla 1). En la temporada 2008-2009, la producción de grano resultó mayor para AX 882 (SG) y bajo riego complementario en todo el ciclo (CR) (Tabla 1).

El índice de cosecha (IC) no presentó diferencias significativas para ninguno de los tratamientos considerados en los dos años de estudio (Tabla 1).

Biomasa radical

En la campaña 2007-2008 la biomasa radical disminuyó desde el estado R_2 a R_6 , y presentó interacciones entre varios de los tratamientos analizados (Tabla 2). En R_2 hubo interacción híbrido x arreglo espacial, híbrido x profundidad, e híbrido x riego. En R_6 hubo interacción híbrido x arreglo espacial, híbrido x profundidad, y arreglo espacial x profundidad. Para la interacción híbrido x arreglo espacial en R_2 , AX 892 (SG) presentó mayor producción que DK 682 bajo ambos arreglos espaciales, y presentó diferencias significativas entre los mismos, a favor del arreglo rectangular. DK 682 no presentó diferencias en su producción para los espaciamientos considerados. En R_6 , AX 892 produjo nuevamente mayor biomasa radical que DK 682. Esta vez ambos híbridos resultaron modificados por el espaciamiento, con menor producción en el arreglo cuadrangular (Tabla 2).

Para la interacción híbrido x profundidad, tanto en R_2 como en R_6 , AX 892 produjo mayor biomasa radical que DK 682 en el estrato superior (Tabla 2).

Tabla 1. Biomasa aérea (g m^{-2}) para los estadios R_2 y R_6 , producción de grano (g m^{-2}) e índice de cosecha (IC) para los híbridos DK 682 (no SG) y AX 892 (SG) bajo dos arreglos espaciales, con riego complementario en todo el ciclo y con supresión de riego a partir de floración femenina. 2007-2008 y 2008-2009. La Plata, Buenos Aires, Argentina.

Table 1. Shoot biomass (g m^{-2}) for the stages R_2 and R_6 , grain production (g m^{-2}) and index of harvest (IC) for the hybrids DK 682 (non SG) and AX 892 (SG) under two space arrangements, with complementary irrigation during the whole crop cycle and with suppression of irrigation from silking stage. 2007-2008 and 2008-2009. La Plata, Buenos Aires, Argentina.

Variables	Biomasa aérea (g m^{-2})		Producción de grano (g m^{-2})	IC
	R^2	R^6		
Campaña 2007-2008				
Híbrido (A)				
DK 682	1697 b	2228 b	1080 b	0,48 a
AX 892	1904 a	2880 a	1384 a	0,48 a
Arreglo espacial (B)				
Cuadrangular	1640 b	2464 b	1152 b	0,47 a
Rectangular	1928 a	2712 a	1312 a	0,48 a
Riego (C)				
Con Riego	1896 a	2824 a	1336 a	0,47 a
Sin Riego	1672 b	2352 b	1136 b	0,48 a
Interacciones				
AB	Ns	Ns	Ns	Ns
AC	Ns	Ns	Ns	Ns
BC	Ns	Ns	Ns	Ns
Campaña 2008-2009				
Híbrido (A)				
DK 682	729 a	1832 b	836 b	0,46 a
AX 882	808 a	1952 a	935 a	0,48 a
Riego (C)				
Con Riego	772 a	2072 a	973 a	0,047 a
Sin Riego	762 a	1719 b	822 b	0,48 a
Interacciones				
AB	Ns	Ns	Ns	Ns

SG: stay green

La misma letra dentro de cada columna, para las distintas variables, indica diferencias no significativas entre medias (Tukey $P \leq 0,05$); Ns: no significativo.

Same letter within each column, for different variables, indicates no significant differences between means (Tukey $P \leq 0.05$); Ns: not significant.

Para la interacción híbrido x riego en R_2 , AX 892 si bien presentó diferencias significativas entre los tratamientos con riego complementario durante todo el ciclo y con riego complementario hasta floración femenina, siempre produjo mayor biomasa radical que DK 682.

En R_6 hubo interacción arreglo espacial x profundidad, lográndose mayor biomasa radical en el arreglo rectangular en los primeros 20 cm de profundidad, a partir de allí hasta los 40 cm no

hubo diferencias significativas entre ambos espaciamientos analizados (Tabla 2).

En la campaña 2008-2009, la biomasa radical presentó diferencias significativas para los híbridos, tanto en R_2 como en R_6 , siendo mayor en ambos casos para el híbrido stay green (AX 882) (Tabla 3). Sólo se encontró interacción para riego x profundidad en R_2 , obteniéndose mayor respuesta a la aplicación de riego en la primera profundidad (Fig. 2).

Tabla 2. Biomasa radical (g dm^{-3}) en estadio R_2 : interacciones híbrido x arreglo espacial, profundidad x híbrido, híbrido x riego, y en estadio R_6 : híbrido x arreglo espacial, profundidad x híbrido, profundidad x arreglo espacial, para dos espaciamientos: cuadrangular y rectangular, para los híbridos: DK 682 (no SG) y AX 882 (SG), con riego complementario en todo el ciclo y riego complementario hasta floración femenina y dos profundidades. Campaña 2007-2008. La Plata, Buenos Aires, Argentina.

Table 2. Root biomass (g dm^{-3}) for the stages R_2 : interactions hybrid x spatial arrangement, depth x hybrid, hybrid x irrigation, and for the stages R_6 : interactions hybrid x spatial arrangement, depth x hybrid, depth x spatial arrangement, for two spacing: square and rectangular, for the hybrids: DK 682 (non SG) and AX 882 (SG) with complementary irrigation during the whole crop cycle and complementary irrigation until silking stage and two depths. Season 2007-2008. La Plata, Buenos Aires, Argentina

Interacciones		R_2	
		Híbrido	
		AX 892	DK 682
Arreglo espacial	Cuadrangular	1,05 b	0,80 a
	Rectangular	1,79 a	0,87 a
		Profundidad	
		0-20	20-40
Híbrido			
	AX 892	9,47 a	1,40 a
	DK 682	5,32 b	1,36 a
		Híbrido	
Riego		AX 892	DK 682
	Con Riego	1,68 a	0,97 a
	Sin Riego	1,07 b	0,93 a
		R_6	
		Híbrido	
		AX 892	DK 682
Arreglo espacial	Cuadrangular	1,09 b	0,59 b
	Rectangular	2,28 a	1,00 a
		Profundidad	
		0-20	20-40
Híbrido			
	AX 892	5,44 a	1,30 a
	DK 682	2,16 b	1,03 a
		Profundidad	
		0-20	20-40
Arreglo espacial	Cuadrangular	1,51 b	1,05 a
	Rectangular	5,29 a	1,27 a

La misma letra dentro de cada columna, para las distintas interacciones, indica diferencias no significativas entre medias (Tukey $P \leq 0,05$).

Same letter within each column, for different interactions, indicates no significant differences between means (Tukey $P \leq 0.05$).

Tabla 3. Biomasa radical (g dm^{-3}) para los estadios R_2 y R_6 , para los híbridos DK 682 (no SG) y AX 882 (SG), con riego complementario en todo el ciclo y riego complementario hasta floración femenina, y dos profundidades. Campaña 2008-2009. La Plata, Buenos Aires, Argentina.
 Table 3. Root biomass (g dm^{-3}) for the stages R_2 and R_6 , for the hybrids DK 682 (non SG) and AX 882 (SG) with complementary irrigation during the whole crop cycle and complementary irrigation until silking stage, and two depths. Season 2008-2009. La Plata, Buenos Aires, Argentina.

Variables	R_2	R_6
Híbrido (A)		
DK 682	1,22 b	1,07 b
AX 882	1,35 a	1,43 a
Riego (B)		
Con Riego	1,50	1,23 a
Sin Riego	1,07	1,27 a
Profundidad (C)		
0-20 cm	2,01	1,91 a
20-40 cm	0,56	0,60 b
Interacciones		
AB	Ns	Ns
AC	Ns	Ns
BC	*	Ns

La misma letra dentro de cada columna, para las distintas variables, indica diferencias no significativas entre medias (Tukey $P \leq 0,05$); Ns: no significativo; *: significativo al 0,05.

The same letter within each column, for different variables, indicates no significant differences between means (Tukey $P \leq 0.05$); Ns: not significant; *: significant at 0.05.

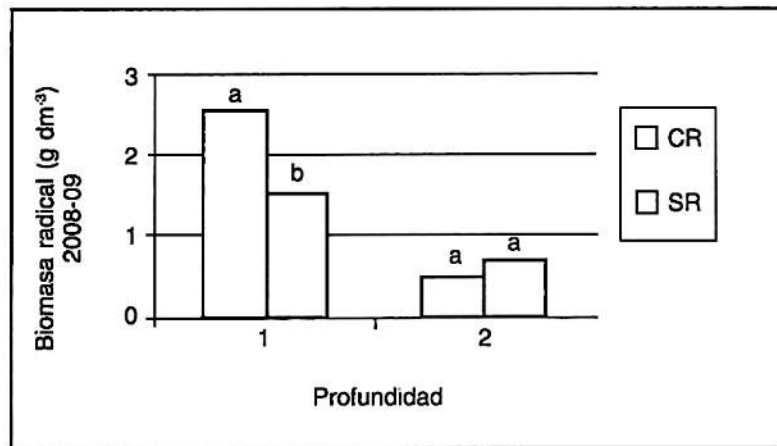


Fig. 2. Biomasa radical (g dm^{-3}) en R_2 , a las profundidades 1) 0-20 cm, 2) 20-40 cm, con riego complementario en todo el ciclo (RC) y riego complementario hasta floración femenina (SR). La misma letra indica diferencias no significativas entre medias (Tukey $P \leq 0,05$). Campaña 2008-2009. La Plata, Buenos Aires, Argentina.

Fig. 2. Root biomass (g dm^{-3}) in R_2 , at depths 1) 0-20 cm, 2) 20-40 cm, with supplemental irrigation during the whole crop cycle (RC) and supplemental irrigation until silking stage (SR). The same letter indicates no significant differences between means (Tukey $P \leq 0.05$). Season 2008-2009. La Plata, Buenos Aires, Argentina.

DISCUSION

De acuerdo con los resultados obtenidos, los híbridos stay green (AX 892 y AX 882) produjeron mayor biomasa aérea y radical y rendimiento respecto al híbrido senescente (DK 682).

Cuando se inicia la senescencia foliar hay una

reducción en la actividad fotosintética por pérdida de clorofila y otros componentes del cloroplasto y por ende, una disminución en la disponibilidad de fotoasimilados para todas las funciones de la planta (Ding et al., 2004). Debido a que el grano es el destino principal de fotoasimilados, la distribución de éstos hacia la raíz disminuye durante el

período de llenado de granos (Ma y Dwyer, 1998; Borrás y Otegui, 2001). En consecuencia, la absorción de nutrientes y agua podría verse restringida durante el período de llenado por la falta de fotoasimilados suficientes para satisfacer las necesidades aéreas y radicales.

La mayor biomasa radical observada en este estudio en los híbridos stay green podría favorecer una mayor disponibilidad de fotoasimilados hasta una etapa más avanzada del ciclo de la planta, prolongando la absorción de agua y nutrientes, pudiendo disminuir de este modo la removilización desde órganos vegetativos. Esto resultaría en una mayor duración del área foliar, con el consecuente aumento en la generación de biomasa total.

Esto coincide con lo encontrado por Rajcan y Tollenaar (1999) y Kaichang et al. (2009), donde el incremento de los rendimientos obtenidos para los híbridos modernos de maíz con carácter stay green se debió a tasas más altas de acumulación de materia seca durante el período de llenado de granos. Esta mayor acumulación de materia seca aérea podría interpretarse como resultado del atraso en la senescencia foliar, prolongando el suministro de energía para que el crecimiento radical y la absorción de N permanezcan activos por más tiempo (Ta y Weiland, 1992; Rajcan y Tollenaar, 1999; Manal y Aly, 2008).

Asimismo, este comportamiento podría deberse a un sistema radical más extenso, ya que la longitud total del sistema radical es de fundamental importancia en la absorción de agua y nutrientes. De acuerdo con Eghball y Maranville (1993), un sistema radical más extenso brindaría un mejor comportamiento frente a limitantes hídricas o nutricionales. En la campaña 2007-2008, la biomasa radical resultó mayor para el híbrido SG, principalmente en el estrato superior, para las condiciones analizadas, tanto en el estado R_2 como en R_6 .

Diferentes estudios muestran que el cultivo de maíz puede producir mayores rendimientos con menores distancias entre hileras usando la misma densidad de plantas que en el espaciado convencional (Porter et al., 1997; Barbieri et al., 2000; Andrade et al., 2002).

Los investigadores Sharrat y McWilliams (2005) indican que el menor distanciamiento entre hileras modifica el uso de la radiación solar, el agua y nutrientes. El cultivo de maíz sembrado a menor distancia entre hileras establece un sistema radical más uniforme y una mejor distribución de sus hojas promoviendo un mejor uso de la radiación solar y del agua. Sin embargo otros estudios no encuentran diferencias favorables en rendimiento en ensayos con menor distanciamiento entre hileras (Johnson et al.,

1998; Jones et al., 2001; Tharp y Kells, 2001). Estas diferencias en la respuesta de maíz al arreglo espacial modificado pueden ser atribuidas a factores climáticos, edáficos o de manejo.

En este estudio no se observó una mayor producción de grano para el arreglo espacial uniforme, quizás debido a la falta de agua desde estados tempranos del desarrollo del cultivo. Ya que si bien, el distanciamiento cuadrangular permite una mejor competencia con las malezas, en estados vegetativos hasta floración, principalmente durante el período crítico de competencia, y ello conlleva a un mejor aprovechamiento por parte del cultivo del agua, los nutrientes y de la radiación solar (Acciaresi y Chidichimo, 2007); en nuestro ensayo las condiciones climáticas adversas (escasez de lluvias) desde estados iniciales del cultivo y que se mantuvo durante floración, podrían haber impedido que se manifestara el efecto positivo del menor distanciamiento entre hileras. Ya que con poca disponibilidad hídrica el acortamiento de la distancia entre hileras puede incrementar el consumo de agua por el cultivo, dado que el follaje ofrece menos resistencia a la pérdida de agua que el suelo seco en superficie. Este fenómeno puede intensificar los efectos negativos de una sequía progresiva sobre la floración, dado que el cultivo consume más agua del suelo en etapas tempranas y así limita la reserva hídrica, como lo sugiere Cirilo (2004).

Un aspecto que debe destacarse es que en los sistemas de producción agrícola de secano, frecuentemente es posible encontrar efectos concurrentes de más de un estrés abiótico. Así, a la baja fertilidad del suelo sometido a repetidos ciclos agrícolas puede sumarse durante el ciclo del cultivo la ocurrencia de períodos con déficit hídrico, situación que aumenta la competencia intra-específica (Bänziger et al., 1997). Diferentes estudios demuestran que la selección por tolerancia al estrés hídrico ha producido híbridos con mayor tolerancia a la baja disponibilidad de N del suelo, i.e., tolerancia cruzada a distintos tipos de estrés (Bänziger et al., 1999; Zaidi et al., 2002).

Estos nuevos híbridos con mayor tolerancia a factores de estrés ambiental se caracterizan por presentar una mayor acumulación de biomasa aérea total y una mayor acumulación de N a madurez del cultivo, siendo mayor esta acumulación absoluta a medida que disminuye la disponibilidad de N y agua (Bänziger et al., 1999; Guamet et al., 2010).

El comportamiento de los híbridos stay green aquí estudiados concuerda con lo anterior, destacando la importancia que dichos híbridos podrían alcanzar en los sistemas productivos de maíz de secano.

CONCLUSIONES

Los híbridos SG para la región analizada y las variables planteadas producen mayor biomasa aérea, biomasa radical y rendimiento que los híbridos senescentes. De este modo, la utilización de híbridos de maíz con senescencia retrasada favorece la obtención de sistemas productivos extensivos con un uso racional del agua edáfica, contribuyendo así a la sustentabilidad del agroecosistema. El arreglo cuadrangular puede intensificar los efectos negativos de la sequía en la producción. La disponibilidad hídrica durante todo el ciclo del cultivo aumenta el potencial de rendimiento de los híbridos stay green.

BIBLIOGRAFIA

- Acciaresi, H.A., and H.O. Chidichimo. 2007. Spatial pattern effect on corn (*Zea mays*) weeds competition in the humid pampas of Argentina. *Int. J. Pest Manag.* 53:195-206.
- Acciaresi, H.A., and M.S. Zuluaga. 2006. Corn (*Zea mays*) and weeds response to crop plant spacing and herbicide use. *Biol. Agric.Hortic.* 24(2):117-134.
- Andrade, F.H., P. Calviño, A. Cirilo, y P. Barbieri. 2002. Yield responses to narrow rows depend on increased radiation interception. *Agron. J.* 94:975-980.
- Bänziger, M., and H.R. Lafitte. 1997. Efficiency of secondary traits for improving maize for low-nitrogen target environments. *Crop Sci.* 37:1110-1117.
- Bänziger, M., G.O. Edmeades, and H.R. Lafitte. 1999. Selection for maize tolerance increases maize yield across a range of nitrogen levels. *Crop Sci.* 39:1035-1040.
- Barbieri, P.A., H.R. Sainz Rozas, F.H. Andrade, and H.E. Echeverría. 2000. Row spacing effects at different levels of nitrogen availability in maize. *Agron. J.* 92:283-288.
- Borrás, L., y M.E. Otegui. 2001. Maize kernel weight response to postflowering source-sink ratio. *Crop Sci.* 41:1816-1822.
- Borrás, L., G.A. Maddonni, and M.E. Otegui. 2003. Leaf senescence in maize hybrids: plant populations, row spacing and kernel set effects. *Field Crops Res.* 82:13-26.
- Casas, R.R. 2001. La conservación de los suelos y la sustentabilidad de los sistemas agrícolas. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria. Tomo LV. Buenos Aires, Argentina.
- CEPAL. 1999. Tendencias actuales de la gestión del agua en América Latina y el Caribe. Documento LC/L 1180. República Dominicana.
- Cirilo, A.G. 2004. Rendimiento del cultivo de maíz. Manejo de la densidad y distancia entre surcos de maíz. *IDIA* 21(6):128-133.
- Ding, L., K.J. Wang, G.M. Jiang, M.Z. Liu, S.L. Niu, and M.L. Gao. 2004. Post-anthesis changes in photosynthetic traits of maize hybrids released in different years. *Field Crops Res.* 93:108-115.
- Duvick, D.N. 1992. Genetic contributions to advances in yield of U.S. maize. *Maydica* 37:69-79.
- Eghball, B., and J.W. Maranville. 1993. Root development and nitrogen influx of corn genotypes grown under combined drought and nitrogen stresses. *Agron. J.* 85:147-152.
- Guiamet, Juan J., H.A. Acciaresi, and E.A. Tambussi. 2010. Senescencia foliar: regulación e impacto sobre el rendimiento de los cultivos. p. 92-108. En: Miralles, D.J., L.N. Aguirrezábal, M.E. Otegui, B.C. Kruk, and N. Izquierdo (eds.). *Avances en ecofisiología de cultivos de granos*. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.
- Gómez, K., and A. Gómez. 1984. *Statistical procedures for agricultural research*. John Wiley and Sons, New York, USA.
- He, P., W. Zhou, and J. Jin. 2004. Carbon and nitrogen metabolism related to grain formation in two different senescent types of maize. *J. Plant Nutrition* 27:295-311.
- Johnson, G.A., T.R. Hoverstad, and R.E. Greenwald. 1998. Integrated weed management using narrow corn row spacing, herbicides and cultivation. *Agron. J.* 90:40-46.
- Jones, C.A., J.M. Chandler, Jr. J.M. Morrison, S.A. Senseman, and C.H. Tingle. 2001. Glufosinate-resistant corn (*Zea mays*). *Weed Tech.* 15:141-147.
- Kaichang, L., D. Shu Ting, Z. Haijun, W. Qingcheng, L. Zongxin, L. Xia, and Z. Hui. 2009. Leaf stay-green traits in Chinese maize inbred lines and their relationship with grain yield. *Acta Agronomica Sinica* 35(9):1662-1671
- Lafarge, T.H., and G.L. Hammer. 2002. Predicting plant leaf area production: shoot assimilate accumulation and partitioning, and leaf area ratio, are stable for a wide range of sorghum population densities. *Field Crops Res.* 77:137-151.
- Ma, B.L., and L.M. Dwyer. 1998. Nitrogen uptake and use of two contrasting maize hybrids differing in leaf senescence. *Plant Soil* 199:283-291.
- Manal, M. H., and A.A. Aly. 2008. Yielding ability and nitrogen use efficiency in maize inbred lines and their crosses. *Int. J. Agr. Res.* 3:27-39
- Muchow, R.C., and P.S. Carberry. 1989. Environmental control of phenology and leaf

- growth in a tropically adapted maize. *Field Crops Res.* 20:221-236.
- Pinstrup-Andersen, P., and M.W. Rosegrant. 2001. The unfinished agenda: perspectives on overcoming hunger, poverty, and environmental degradation. International Food Policy Research Institute, Washington, DC, USA.
- Porter, P.M., D.R. Hicks, W.E. Lueschen, J.H. Ford, D.D. Warnes, and T.R. Hoverstad. 1997. Corn responses to row width and plant population in the northern corn belt. *J. Prod. Agr.* 10:293-300.
- Rajcan, I., and M. Tollenaar. 1999. Source:sink ratio and leaf senescence in maize: II. Nitrogen metabolism during grain filling. *Field Crops Res.* 60:255-265.
- Ritchie, S.W., and J.J. Hanway. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service. Special Report N° 34. Ames, Iowa, USA.
- Satorre, E. 2005. Cambios tecnológicos en la agricultura argentina actual. *Ciencia Hoy* 15:24-31.
- Sharrat, B.S., and D.A. McWilliams. 2005. Microclimatic and rooting characteristics of narrow-row versus conventional-row corn. *Agron. J.* 97:1129 -1135.
- StatPoint Technologies. 2009. Statgraphics® Centurium XVI. Manuale d'uso. StatPoint Technologies Inc., Warrenton, Virginia, USA.
- Ta, C.T., and R.T. Weiland. 1992. Nitrogen partitioning in maize hybrids grown in Ontario from 1958 to 1988. *Crop Sci.* 32:443-451.
- Tharp, B.E., and J.J. Kells. 2001. Effect of glufosinate-resistant corn (*Zea mays*) population and row spacing on light interception, corn yield, and common lambsquarters (*Chenopodium album*) growth. *Weed Tech.* 15:413-418.
- Tollenaar, M. 1989. Genetic improvement in grain yield of commercial maize hybrids grown in Ontario from 1958 to 1988. *Crop Sci.* 29:1365-1371
- Uhart, S.A., and F.H. Andrade. 1995. Nitrogen and carbon accumulation and remobilization during grain filling in maize under different source/sink ratios. *Crop Sci.* 35:183-190.
- UNESCO. 2003. Informe: La inercia política exacerba la crisis del agua. Disponible en: <http://portal.unesco.org> (Consultado 21 marzo 2005).
- Valentinuz, O., and M. Tollenaar. 2004. Vertical profile of leaf senescence during the grain-filling period in older and newer maize hybrids. *Crop Sci.* 44:827-834.
- Wolfe, D.W., D.W. Henderson, T.C. Hsiao, and A. Alvino. 1988. Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize. II. Photosynthetic decline and longevity of individual leaves. *Agron. J.* 80:865-870.
- Zaidi, P.H., G. Srinivasan, H. S. Cordova, and C. Sanchez. 2002. Gains from improvement for mid-season drought tolerance in tropical maize (*Zea mays* L.). *Field Crops Res.* 89: 135-152.