

## Capítulo 10

# Espaciamiento entre hileras del cultivo

Alfredo Cirilo

Fernando Andrade

Oscar Valentinuz

---

## 10. Espaciamiento entre hileras del cultivo

**Alfredo Cirilo, Fernando Andrade y Oscar Valentinuz**

### 10.1. Introducción

El rendimiento del cultivo de maíz depende de su capacidad de producir biomasa y de la fracción de la misma que destina a la producción de granos (índice de cosecha, IC; Capítulo 3). Ese crecimiento resulta de la utilización fotosintética de la radiación solar en la elaboración de los componentes necesarios para la constitución y funcionamiento de los distintos órganos de las plantas. Por lo tanto, está directamente relacionado con la capacidad del cultivo para capturar la luz solar incidente (ei). Cultivos de maíz bien manejados deben asegurar la mayor intercepción posible de la oferta de radiación incidente durante el ciclo, pero especialmente durante la etapa crítica de determinación del rendimiento (Capítulo 4). Altas tasas de crecimiento en esa etapa del cultivo permiten fijar más granos y, en consecuencia, alcanzar mayores rendimientos. La captura de radiación solar por el cultivo, por su parte, es función de la estructura de su canopeo, que depende de la densidad de siembra y de la arquitectura y tamaño del área foliar de las plantas pero también del arreglo espacial de esas plantas en el terreno, es decir, de la distancia entre las hileras de siembra. Por lo tanto, la respuesta del rendimiento en maíz al manejo del espaciamiento entre hileras debe ser particularmente analizada a través de su efecto en la cantidad de radiación interceptada durante el período crítico de fijación de granos (Andrade et al. 2002).

La completa intercepción de la radiación solar incidente es probable que no se alcance cuando se siembran genotipos de ciclo corto de pocas hojas y/o de hojas erectas (Bavec y Bavec, 2002), cuando las plantas son defoliadas por heladas, granizo o insectos o están sometidas a deficiencias hídricas o nutricionales (Barbieri et al., 2000 y 2008). Dado que las deficiencias de agua o nutrientes durante el período vegetativo limitan la expansión del área foliar (D'Andrea et al., 2006; Salah y Tardieu, 1997; Uhart y Andrade, 1995; Capítulo 7), es posible obtener ventajas del acercamiento de las hileras cuando aquellas deficiencias no son corregidas o mitigadas a tiempo. También la siembra temprana de maíz puede incrementar la respuesta a la reducción del espaciamiento entre hileras dado que puede generar plantas con menos hojas y menor tamaño (Duncan et al., 1973; Maddonni y Otegui, 1996; Capítulos 2 y 12).

La modificación de la distancia entre hileras en el cultivo de maíz plantea dificultades operativas para llevarla a la práctica por la disponibilidad de maquinarias apropiadas para la siembra y demás tareas culturales. Por lo tanto, es conveniente conocer sus ventajas o desventajas, según el caso, y aconsejarla sólo cuando puedan esperarse beneficios de su empleo. En el presente capítulo se analiza el

efecto del acercamiento de las hileras de siembra en maíz en diferentes situaciones de cultivo con la finalidad de orientar la toma de decisiones en la adopción de esta práctica.

### 10.2. Espaciamiento entre hileras y captura de radiación solar

La disminución de la distancia entre hileras, manteniendo constante la densidad de siembra, generalmente conduce a una distribución más uniforme de las plantas de maíz sobre el terreno. Esta disposición más cuadrangular (plantas más equidistantes) permite cubrir mejor y más tempranamente el suelo y reducir o retrasar la mutua competencia entre plantas por agua, nutrientes y luz, con las ventajas esperables tanto en el control del crecimiento de malezas (Forcella et al., 1992; Teadsdale, 1995) como en la captura de nutrientes limitantes en el suelo y de recursos en general (Stickler, 1964; Rosolem et al., 1993; Barbieri et al., 2000 y 2008). Al reducirse la superposición de hojas sobre el surco con una menor distancia entre las hileras de siembra se incrementa la eficiencia de captura de luz desde etapas tempranas del cultivo, tal como se muestra en las Figuras 10.1 y 10.2 (panel izquierdo) para cultivos de maíz creciendo sin limitaciones hídricas ni nutricionales (Cirilo, 2000).

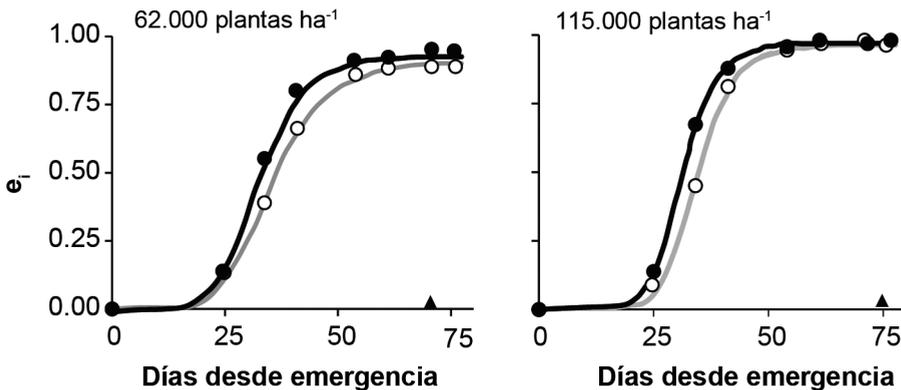


Figura 10.1: Evolución de la eficiencia de intercepción de radiación solar por el canopeo ( $e$ ) entre la emergencia y la postfloración de un cultivo de maíz creciendo sin limitaciones hídricas ni nutricionales en Pergamino (híbrido de ciclo completo para la localidad) con dos distancias entre hileras: 0,50 m (línea y símbolos negros) y 0,70 m (línea gris y símbolos blancos) sembrados con dos densidades de plantas: baja (izquierda) y alta (derecha). Los triángulos indican el momento de floración en cada caso. (Adaptado de Cirilo, 2000).

En el rango de densidades de plantas generalmente utilizadas en maíz, cuando el cultivo se siembra en hileras más próximas, se reduce el índice de área foliar requerido para maximizar la intercepción de la radiación incidente debido a un mayor coeficiente de extinción lumínica del canopeo (panel derecho en Figura 10.2; Flénet

et al., 1996; Riahinia y Dehdashti, 2008; Maddonni et al., 2001a y 2006; Johnson y Hoverstad, 2002). Sin embargo, este efecto se diluye en densidades muy bajas (<4 plantas m<sup>-2</sup>) en las que, indistintamente del espaciamiento usado entre hileras de siembra, el máximo IAF desplegado en floración es insuficiente para alcanzar el índice de área foliar crítico (IAFc) y el canopeo presenta aún una escasa proporción de hojas mutuamente sombreadas. En consecuencia, las ventajas de una mayor captura de radiación por acercar hileras se tornan inconsistentes porque la disminución en la radiación transmitida entre hileras es compensada por el aumento de la radiación transmitida entre plantas dentro de la hilera (Maddonni et al., 2006).

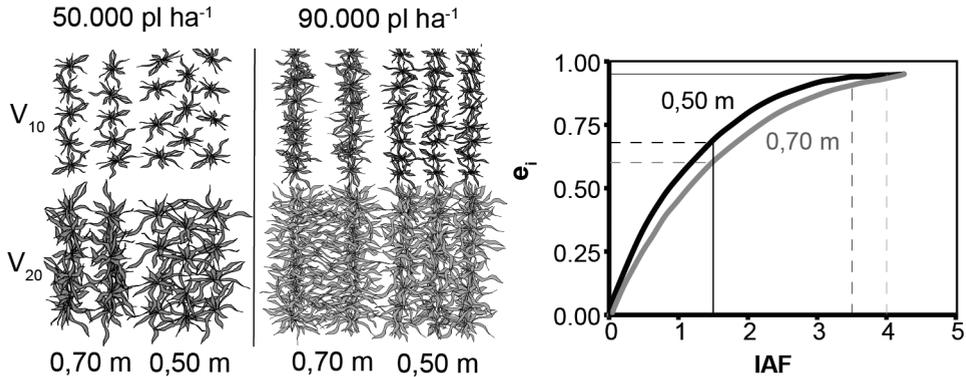


Figura 10.2: *Izquierda*: representación esquemática del efecto de la variación de la distancia entre hileras (0,50 vs 0,70 m) sobre la estructura del canopeo de maíz (en vista aérea) para dos densidades: baja (50.000 plantas ha<sup>-1</sup>) y alta (90.000 plantas ha<sup>-1</sup>) en dos momentos de la etapa vegetativa: V<sub>10</sub> (cobertura de suelo: 0,50>0,70 m en ambas densidades) y V<sub>20</sub> (cobertura de suelo: 0,50>0,70 m sólo en baja densidad). *Derecha*: relación esperada entre la eficiencia de intercepción de radiación solar (e<sub>i</sub>) y el índice de área foliar (IAF) desplegado progresivamente a lo largo de la etapa vegetativa, donde la línea negra gruesa continua corresponde a 0,50 m y la línea gris gruesa continua, a 0,70 m. Las líneas cortadas verticales indican el valor diferencial de IAFc (0,50 m<0,70 m; en colores negro y gris, respectivamente) que permite alcanzar e<sub>i</sub>≥0,95 (indicado con la línea continua delgada horizontal). Las líneas cortadas horizontales indican el valor diferencial de e<sub>i</sub> (0,50 m>0,70 m; en colores negro y gris, respectivamente) alcanzado para un mismo IAF=1,5 (indicado con la línea continua delgada vertical) desplegado aproximadamente a mitad de la etapa vegetativa.

Con densidades de siembra usuales para el cultivo de maíz y en ausencia de deficiencias importantes de agua o nutrientes, los beneficios de una mayor captura de radiación por reducir la distancia entre hileras se evidencian sólo en las etapas tempranas de despliegue de hojas en el canopeo. Las diferencias se reducen o anulan, particularmente en densidades altas, al aproximarse el cultivo al momento de floración en el que las plantas despliegan la totalidad de su área foliar (Figura 10.1). Por lo tanto, los aumentos en la cantidad de radiación interceptada son más evidentes, en general, en la etapa vegetativa previa a la floración. En la Tabla 10.1 se

presentan los valores comparados de radiación interceptada acumulada medidos en dos distanciamientos entre hileras de cultivos de maíz creciendo sin limitantes hídricas ni nutricionales en una de las principales zonas productoras de Argentina, sembrados en un amplio rango de densidades (Cirilo, 2000). Se puede observar en la tabla que la mejora en la captura de luz fue de 4,6% en la etapa vegetativa hasta la floración y de sólo 2,9% desde la floración hasta la madurez fisiológica. En cambio, el incremento en la densidad de plantas triplicó ( $\approx 16,8\%$ ) la respuesta en captura de luz en la etapa vegetativa respecto del efecto de estrechar hileras, evidenciando la mayor efectividad del ajuste del número de plantas para aumentar la intercepción de la radiación que llega al tope del cultivo (Capítulo 9). En general, los incrementos en captura de luz en respuesta a hileras cercanas en maíz informados en la literatura son generalmente inferiores al 15% en condiciones usuales de cultivo (Scarsbrook y Doss, 1973; Bullock et al., 1988; Ottman y Welch, 1989; Westgate et al., 1997; Barbieri et al., 2012).

Tabla 10.1: Radiación solar fotosintéticamente activa interceptada ( $R_{int}$ ) y biomasa acumuladas desde emergencia hasta floración y entre floración y madurez fisiológica según densidades y distancias entre hileras de cultivos de maíz creciendo sin limitaciones hídricas ni nutricionales en Pergamino. Los valores corresponden a promedios de seis híbridos comerciales de ciclo completo difundidos en la región. (Adaptado de Cirilo, 2000).

		Emergencia-Floración		Floración-Madurez fisiológica	
		$R_{int}$	Biomasa	$R_{int}$	Biomasa
		( $Mj\ m^{-2}$ )	( $g\ m^{-2}$ )	( $Mj\ m^{-2}$ )	( $g\ m^{-2}$ )
Densidad ( $pl\ ha^{-1}$ )	62.000	380	937	743	1.623
	87.000	434	1.072	767	1.572
	115.000	454	1.178	761	1.492
LSD 0,01		26	144	ns	ns
Espaciamiento (m)	0,50	432	1.098	768	1.577
	0,70	413	1.027	746	1.548
	prob. F	0,01	0,001	ns	0,10
cv%		6,7	8,5	5,0	16,2

### 10.2.1. Variaciones por plasticidad azimutal del canopeo

La variación en la distancia entre hileras en maíz, en general, no genera modificaciones en el valor máximo de IAF alcanzado por el canopeo (Maddonni et al., 2001a; Westgate et al., 1979). Si bien, como ya fue mencionado, un patrón de siembra más cuadrangular mejora la captura de luz por el cultivo en su etapa vegetativa, en algunos híbridos se alcanzan valores de  $ei$  similares indistintamente de la distancia entre hileras utilizada. Esta respuesta disímil de  $ei$  al acercamiento

de las hileras puede ser atribuida a un comportamiento contrastante entre híbridos de maíz en cuanto a su sensibilidad frente a las señales de proximidad de plantas vecinas según la distribución espacial de las plantas en el cultivo que modifica la arquitectura del canopeo (Maddonni et al., 2001a; Maddonni et al., 2001b). En efecto, la distribución azimutal de las hojas (orientación de las hojas en el plano horizontal sobre el tallo de la planta) se modifica al aumentar la densidad de plantas sembradas, pero también puede alterarse frente al acortamiento de la distancia entre hileras (Maddonni et al. 2001a). Desde etapas muy tempranas del ciclo del cultivo, el crecimiento de las hojas y su disposición azimutal puedan ser modificadas por el ambiente lumínico que exploran y perciben las plantas, reorientándolas hacia espacios con menor competencia (Maddonni et al., 2002). Existen diferencias genotípicas en esa capacidad de reorientación foliar que permite agrupar a los genotipos de maíz en plásticos o rígidos en función de su mayor o menor respuesta a la calidad de luz que perciben y las señales de proximidad de plantas vecinas (Maddonni et al. 2001a). En los genotipos plásticos, las plantas reaccionan orientando las hojas en expansión hacia los espacios libres de plantas vecinas competidoras de modo de ocupar esos vacíos espaciales (ya sea dentro de la hilera o en el espacio entre hileras), logrando así alcanzar valores semejantes de  $e_i$  en diferentes distancias entre hileras. Por el contrario, los genotipos rígidos no exhiben esa capacidad de reacción y presentan una distribución azimutal al azar de sus hojas, independientemente del patrón de siembra. Es con este último tipo de híbridos que pueden esperarse mayores mejoras en la captura de luz cuando se siembran con un planteo más cuadrangular por acercamiento de las hileras de siembra ya que, de no hacerlo, las plantas no pueden reacomodar por sí mismas sus hojas ante la mutua interferencia. En este sentido, en estudios de simulación sólo se hallaron diferencias consistentes en la atenuación lumínica dentro del canopeo cuando la orientación azimutal de las hojas se cambió drásticamente desde hojas completamente al azar a hojas totalmente perpendiculares al surco de siembra (Maddonni et al., 2001b). Este comportamiento diferencial entre genotipos puede contribuir a explicar las diferencias en las respuestas al acercamiento de hileras en cuanto a captura de luz cuando se cotejan densidades y áreas foliares de planta semejantes. Por lo tanto, una distribución más uniforme de las plantas y de sus hojas en el espacio por sembrarlas en entre-surcos estrechos puede incrementar la atenuación lumínica cuando los canopeos no alcancen el IAFc con hileras anchas y, en ese caso, es con los genotipos rígidos con los que se pueden esperar las mayores respuestas a la adopción de la práctica (Maddonni et al, 2001a). En cambio, en cultivos densos de maíz en los que alcanzar el IAFc es esperable, la atenuación de la radiación por el canopeo al desplegar el máximo índice de área foliar en floración no varía significativamente entre genotipos rígidos y plásticos indistintamente del espaciamiento utilizado.

### 10.3. Espaciamento entre hileras y rendimiento en grano

Las mejoras resultantes en la cantidad de radiación interceptada por el canopeo por una menor distancia entre hileras tienen su correspondencia en la biomasa producida dada la directa relación causal entre la captura de radiación y la producción de biomasa como resultado de la actividad fotosintética del cultivo (Capítulo 3). Esta respuesta está reflejada en la Tabla 10.1 y en diversos reportes bibliográficos (Cirilo, 2000; Barbieri et al., 2000; Bullock et al., 1988). Sin embargo, con densidades de siembra usuales y en ausencia de deficiencias importantes de agua o nutrientes, los beneficios en rendimiento en grano obtenidos por reducir la distancia entre hileras en el cultivo maíz son variables. En algunos casos se han reportado incrementos de rendimiento de variada magnitud (Bullock et al., 1988; Olson y Sander, 1988; Scarsbrook y Doss, 1973; Lich et al., 2019), pero en otros casos no se han encontrado respuestas o éstas son inconsistentes (Ottman y Welch, 1989; Westgate et al., 1997; van Roekel y Coulter, 2012; Cirilo, 2001; Maddonni y Martínez-Bercovich, 2014).

Las diferencias en la respuesta del rendimiento a la reducción del espaciamento entre hileras deben ser analizadas en función del efecto de la práctica sobre la cantidad de radiación interceptada por el cultivo durante los momentos críticos para la fijación de granos. En cultivos creciendo en condiciones adecuadas y con las densidades correctas, las ventajas tempranas en cobertura por estrechar hileras se diluyen conforme avanza el ciclo del cultivo y, por lo general, se logran altos valores de intercepción de radiación solar antes del período crítico de determinación del rendimiento alrededor de la floración (Capítulo 4) cualquiera sea el espaciamento entre hileras. Por consiguiente, las ventajas de reducir la distancia entre hileras en maíz resultan generalmente de reducida magnitud o inconsistentes en dichas condiciones. Sin embargo, la respuesta del rendimiento a la modificación de la distancia entre hileras puede variar según la densidad de plantas, las características del cultivar empleado, y la condición ambiental. Así, en ausencia de restricciones hídricas severas alrededor de la floración, es posible esperar ventajas del acercamiento de hileras en todas aquellas situaciones en que sea previsible que no se alcance la plena intercepción de la radiación incidente en la etapa crítica sembrando hileras más distantes. Tal es el caso de la siembra de cultivares muy precoces con limitado número de hojas y/o con hojas de inserción muy erecta con escasa eficiencia de captura de radiación por unidad de área foliar desplegada (Bavec y Bavec, 2002). También se pueden esperar ventajas por estrechar hileras cuando existen expectativas de riesgo de pérdida de área foliar por heladas, granizo o insectos que afectan la captura de radiación. Del mismo modo es posible encontrarlas en el caso de plantas que estén sometidas a estrés hídrico o de nutrientes transitorios durante la etapa de crecimiento vegetativo (Barbieri et al., 2000). En estos casos, las deficiencias de agua o nutrientes que experimenta tempranamente el cultivo limitan la expansión y supervivencia del área foliar de las plantas (D'Andrea et al., 2006; Salah y Tardieu, 1997; Uhart y Andrade, 1995b), lo que incrementa la probabilidad de respuesta favorable a la reducción de la distancia entre hileras. También puede incrementarse la probabilidad de respuesta al estrechamiento de hileras en el caso de siembras

muy tempranas de maíz en ambientes fríos dado que en tales ambientes es posible encontrar plantas más pequeñas con menos hojas (Duncan et al., 1973). También pueden responder favorablemente al acortamiento de la distancia entre hileras los cultivos de maíz en siembras a continuación de otro cultivo invierno-primaveral en la misma estación de crecimiento que limita la disponibilidad inicial de agua y nutrientes. Dicha respuesta positiva también se da especialmente en siembras muy demoradas en altas latitudes que exigen i) reducir la cantidad de plantas en el cultivo por el empobrecimiento progresivo del ambiente térmico y radiativo (Cirilo y Andrade, 1994; Otegui et al., 2002; Capítulo 12 y ii) el empleo de híbridos de menor ciclo (de menor porte y follaje) por el acortamiento de la estación disponible para el crecimiento previo a las primeras heladas estacionales (Otegui et al. 2002; Mercou y Otegui, 2014; Capítulo 13).

La respuesta del rendimiento a la reducción de la distancia entre hileras dependerá, entonces, de la mejora que se logre, respecto del cultivo sembrado en hileras anchas, en la eficiencia de intercepción de radiación solar que alcanza el canopeo y, por lo tanto, en la producción de biomasa alrededor de la floración, momento crítico para la determinación del rendimiento (Capítulo 4). Si el cultivo sembrado con hileras anchas no logra la plena captura de la luz incidente en ese momento, el rendimiento mejorará al sembrar hileras angostas debido a la mejora esperada en la captura de radiación y el mayor crecimiento resultante durante el período (Andrade et al., 2002). Entonces, las mejoras esperables del rendimiento en maíz por sembrar en hileras angostas serán mayores cuanto menor sea la intercepción de radiación incidente en floración que se logra en el cultivo con hileras anchas y cuanto mayor sea el incremento porcentual en esa intercepción resultante de la adopción de la práctica (Andrade et al., 2002; Otegui et al., 2007; Cirilo et al., 2012). Por lo tanto, el incremento esperado de rendimiento por sembrar en hileras más cercanas resulta inversamente relacionado al valor de  $e_i$  en floración alcanzado con hileras distantes y directamente relacionado con la mejora lograda en el valor de  $e_i$  por acercar las hileras (Figura 10.3).

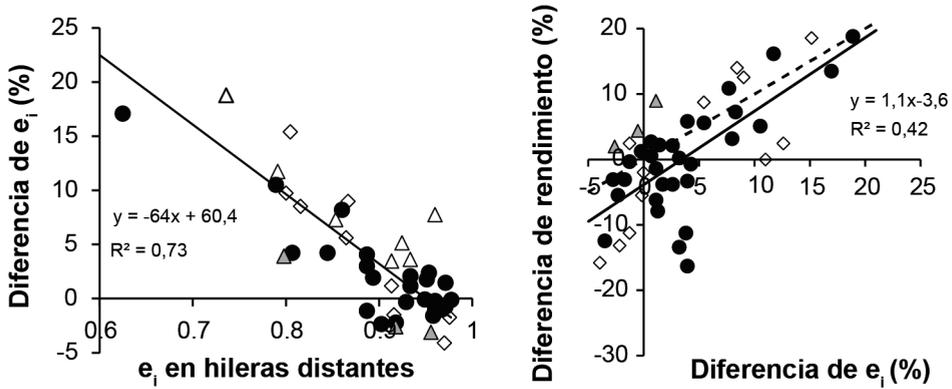


Figura 10.3: Izquierda: Diferencia porcentual en la eficiencia de intercepción de radiación ( $e_i$ ) durante la floración por reducción de la distancia entre hileras en función de la  $e_i$  observada en hileras distantes durante la misma etapa. Derecha: Relación entre las respuestas porcentuales de rendimiento y de  $e_i$  en floración por reducción de la distancia entre hileras; la línea discontinua indica la relación 1:1 entre las variables. Diferentes símbolos y colores indican distintos experimentos comparando diferentes distanciamientos evaluados en ausencia de limitaciones hídricas o nutricionales (Adaptado de Otegui et al., 2007).

### 10.3.1. Distancia entre hileras en cultivos con muy baja densidad de plantas

Las ventajas en la captura de la radiación solar incidente por acercar las hileras reportadas para cultivos sembrados en densidades moderadamente bajas (Figura 10.3) se reducen cuando los maíces son cultivados en muy bajas densidades ( $\leq 4$  plantas  $m^{-2}$ ) en las que, por lo general, los cultivos alcanzan valores máximos de IAF muy por debajo del valor crítico para plena captura de radiación (Maddonni et al., 2006). En tales situaciones, la interferencia entre hojas es escasa dado el reducido tamaño del área foliar desplegado y la variación de su distribución en el espacio por modificar la distancia entre hileras tiene poco efecto en mejorar la captura de radiación. Por otro lado, con tales densidades, sin restricciones hídricas ni nutricionales severas, usualmente las plantas de maíz presentan tasas de crecimiento en floración iguales o superiores al valor umbral de  $3-4$  g planta $^{-1}$  día $^{-1}$  reportado en la literatura (Echarte et al., 2004) por encima del cual fijan un número de granos cercano a su potencial (Capítulo 4). Por lo tanto, las variaciones en la distancia entre hileras en tales condiciones pueden no reflejarse en diferencias en el número de granos fijados debido a limitaciones morfogénicas de las plantas para fijar más granos. En correspondencia, el rendimiento en grano del cultivo sigue la misma tendencia dado que el peso individual del grano generalmente no varía ante diferentes distancias entre hileras en esas situaciones donde el rendimiento por planta está maximizado. Si bien tales situaciones son inusuales en la gran mayoría de los sistemas de producción de maíz de regiones húmedas, las mismas pueden presentarse en ambien-

tes marginales con severas restricciones de la oferta hídrica donde es conveniente explorar estrategias adaptativas con siembra del cultivo en muy bajas densidades. En esos casos, la elección de genotipos prolíficos con varias espigas por tallo y/o con varios tallos fértiles permitirá obtener ventajas en rendimiento, especialmente durante las estaciones inesperadamente lluviosas (Du Toit y Prinsloo, 2000; Rotili et al., 2021; Rotili et al., 2022; Capítulo13).

### 10.3.2. Alteraciones de la eficiencia de uso de la radiación en cultivos densos

En las situaciones usuales de producción de maíz, sin restricciones hídricas ni nutricionales importantes, la estrategia de manejo aconsejable es maximizar la captura de radiación ( $e_i$ ) y la eficiencia de conversión de radiación interceptada en biomasa ( $e_c$ ) durante el período crítico de determinación del rendimiento alrededor de la floración del cultivo (Andrade, 1995; Capítulos 3 y 4). En ambientes con alta disponibilidad de recursos (principalmente agua y nutrientes), donde los cultivos son sembrados con altas densidades de plantas para elevar su productividad (Capítulo 9), esa estrategia permite alcanzar altos valores de IAF que superan el IAF<sub>c</sub> y logran niveles de  $e_i$  en floración superiores a 0,95 aún en hileras distantes. Por lo tanto, en tales situaciones la reducción de la distancia entre hileras no contribuye a incrementar la captura de luz en floración (Andrade et al., 2002) ni tampoco, en consecuencia, en la etapa posterior de llenado de los granos. Sin embargo, la  $e_c$  en postfloración de cultivos densos es alterada por el empleo de entresurcos estrechos. En efecto, Maddonni et al. (2006) reportaron reducciones de 5 a 16% en la  $e_c$  durante el período postfloración en tales condiciones como consecuencia de una mayor atenuación de radiación dentro del canopeo que resulta en una senescencia más acelerada de sus hojas. En tales condiciones, los estratos medios e inferiores de hojas dentro del canopeo en hileras cercanas perciben menores niveles de irradiancia y con menor calidad (baja relación rojo/rojo lejano) que los mismos estratos en cultivos sembrados en hileras más distantes, lo que deprime su actividad fotosintética (Pendleton et al. (1968) y acelera su senescencia (Borrás et al., 2003; Sadras et al., 2000; Thomas y Ougham, 2015), por lo que se reduce la  $e_c$  del cultivo en la etapa de llenado de los granos. Esta menor  $e_c$  de cultivos densos sembrados en hileras cercanas se refleja en una menor producción de biomasa en dicha etapa que afecta la disponibilidad de fotoasimilados para los granos limitando su peso final y, en consecuencia, reduciendo el rendimiento (Cirilo y Andrade, 1996; Borrás y Otegui, 2001; Borrás et al., 2004) según la relación fuente-destino establecida en el cultivo; Capítulos 5 y 6). Los puntos ubicados por debajo de la relación 1:1 en la Figura 10.3 corresponden a cultivos densos de maíz y reflejan estos efectos que los apartan de la relación general esperada entre las mejoras en captura de radiación y de rendimiento en respuesta a acercar las hileras. Si bien las mermas de rendimiento por esta causa suelen ser de escasa magnitud, la fuerte demanda de fotoasimilados de las espigas debido al elevado número de granos fijados en esos ambientes de alta productividad genera un marcado desbalance con la oferta fotosintética actual y promueve una fuerte removilización de reservas desde los tallos (Uhart y Andrade, 1995a; Martínez Dalmás et

al., 2013; D'Andrea et al, 2016; Capítulo 6). Esta mayor removilización de reservas debilita la estabilidad de los tallos y puede provocar, según el híbrido, importantes pérdidas de cosecha como consecuencia del incremento en la cantidad de plantas volcadas y quebradas que no pueden ser recolectadas en la cosecha mecánica (Figura 10.4; Cirilo, 2002). En ese caso, la elección de híbridos que conserven mejor la estabilidad de su tallo, así como el anticipo de la cosecha aún a costa de mayores gastos de secado artificial durante la comercialización, deberán ser tenidos en consideración cuando se empleen altas densidades de plantas y entresurcos angostos en condiciones de alta productividad de maíz y sin restricciones de recursos.

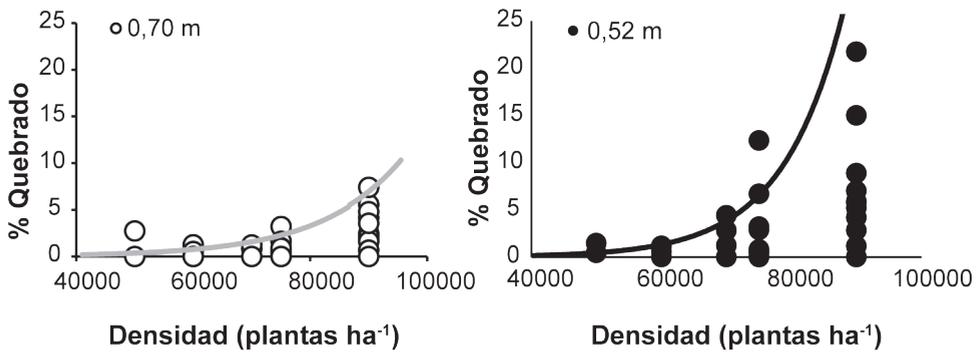


Figura 10.4: Relaciones entre el porcentaje de plantas quebradas en la cosecha y la densidad de siembra con distanciamientos entre hileras de 0,70 m (izquierda) y 0,52 m (derecha) en cultivos de maíz creciendo sin limitaciones hídricas ni nutricionales en Pergamino, Argentina. Datos de diversos híbridos difundidos en la región. Se incluyen ajustes de cuantil 90% (Adaptado de Cirilo, 2002).

### 10.3.3. Distancia entre hileras en situaciones de deficiencias hídricas

En la agricultura de secano la variación estacional en la oferta hídrica provoca con frecuencia déficits hídricos de variada duración e intensidad que son la principal limitante para la obtención de rendimientos altos y estables de maíz (Capítulo 8). Como ya fue mencionado, diferentes valores de  $e_i$  son esperables cuando la estructura del cultivo se altera por variaciones en la distancia entre hileras y en la densidad de plantas sembradas. Esas diferencias en la cobertura del suelo pueden modificar el impacto de reducciones de la disponibilidad hídrica sobre el rendimiento. Esto es así porque la variación en la distancia entre hileras, a una dada densidad de plantas, afecta la partición del agua evapotranspirada por el cultivo entre la transpiración desde el follaje y la evaporación desde el suelo (Al-kaisi et al., 1989; Villalobos y Ferreres, 1990). En situaciones de buena disponibilidad hídrica por lluvias frecuentes o riego, cuando se acercan las hileras se reduce la proporción de agua evaporada directamente desde la superficie húmeda del suelo y aumenta la proporción de agua

transpirada por el follaje debido al mayor y más temprano sombreado del entresurco, mejorando así la eficiencia de uso del agua disponible para el cultivo (Barbieri et al., 2012; Capítulo 8). Sin embargo, frente a situaciones de lluvias que se tornan temporalmente escasas al avanzar el ciclo del cultivo, cuando el suelo se seca prolongadamente en superficie, se reduce su tasa de evaporación de manera notable ya que el aire que llena los poros de los estratos superficiales interrumpe la conductividad del agua en el sistema suelo-atmósfera (McNaughton and Jarvis, 1983). Cuando se produce una sequía progresiva, el cultivo depende del agua almacenada en el suelo para enfrentarla. En esta situación, la siembra en hileras cercanas incrementa el uso anticipado del agua por transpiración (Alessi and Power 1982; Zafaroni and Schneiter 1989; Debaeke and Aboudrare 2004) ya que la cantidad de agua transpirada por el canopeo de maíz está estrechamente relacionada con la cantidad de radiación solar interceptada (Dardanelli et al., 2003; Otegui, 2009; Capítulo 8). O sea que la siembra en hileras cercanas, al permitir que el follaje capture más radiación desde etapas más tempranas, incrementa, al mismo tiempo, el consumo de agua por parte del cultivo ya que éste ofrece menos resistencia a la pérdida de agua que el suelo seco en superficie. Entonces, este fenómeno puede intensificar los efectos negativos de una sequía progresiva al limitar la reserva hídrica y agravar el riesgo de estrés durante el período crítico para la determinación del rendimiento si no es interrumpida por lluvias oportunas (Passioura, 2006). Así, una sequía progresiva puede tornarse más severa en cultivos sembrados en hileras angostas, particularmente cuando se usan densidades que resultan excesivas para el ambiente hídrico instalado con la sequía. En tales casos, la siembra en hileras distantes permite un uso más conservativo del agua del suelo durante el período vegetativo. En efecto, Barbieri et al. (2012) reportaron un mayor consumo (ca., 8%) de las reservas de agua del suelo en etapas tempranas del ciclo del cultivo de maíz con el empleo de hileras cercanas, provocando una desfavorable distribución del agua almacenada en el suelo a la siembra entre las etapas vegetativa y reproductiva. Entonces, cuando la probabilidad de deficiencias hídricas es alta por una eventual sequía progresiva sobre la floración, la siembra en hileras más distantes posibilita un uso ahorrativo del agua edáfica durante el período vegetativo, evitando mayores reducciones en las tasas de crecimiento de plantas en floración respecto de hileras cercanas que afecten marcadamente la fijación de granos en el cultivo.

Tabla 10.2: Rendimiento (14% humedad), número de granos, eficiencia de intercepción de radiación ( $e_i$ ) en floración e intervalo entre floraciones masculina y femenina (ASI) de dos híbridos de diferente sensibilidad al estrés hídrico creciendo con diferentes densidades y distancias entre hileras en dos condiciones hídricas (riego: mitad superior; seco: mitad inferior, con período de 40 días de lluvias escasas y alta demanda atmosférica en etapa vegetativa tardía) en Pergamino. Se incluye el valor de diferencia mínima significativa al nivel de significancia (LSD) de 0,05 para comparación de medias. (Adaptado de Cirilo, 2001).

Híbrido	Densidad (pl m <sup>-2</sup> )	Distancia entre hileras (m)	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	Número de granos (m <sup>-2</sup> )	e <sub>i</sub> en floración (-)	ASI (días)
<b>Riego</b>						
Más Sensible	7	0,50	13410	3666	0,92	3
		0,70	13587	3735	0,92	3
	9	0,50	13467	3953	0,94	4
		0,70	14090	3991	0,93	4
Menos Sensible	7	0,50	13020	3875	0,95	0
		0,70	13393	3995	0,93	0
	9	0,50	13203	4216	0,95	1
		0,70	13573	4193	0,94	1
LSD (0,05)			1.050	211	0,04	--
<b>Secano</b>						
Más Sensible	5	0,50	9333	2564	0,86	4
		0,70	10037	2730	0,82	4
	7	0,50	9290	2532	0,89	5
		0,70	11243	3164	0,87	5
Menos Sensible	5	0,50	10467	3011	0,90	1
		0,70	10510	3055	0,85	1
	7	0,50	11893	3452	0,91	1
		0,70	11860	3444	0,90	1
LSD (0,05)			1.350	617	0,04	--

La merma de rendimiento resultante de una sequía agravada por el mayor consumo hídrico del cultivo en etapas previas a la floración con hileras cercanas dependerá de la densidad de plantas sembradas y de la sensibilidad al estrés hídrico del híbrido utilizado (Curin et al., 2020; Hao et al., 2019). La Tabla 10.2 muestra esa respuesta diferencial al acercamiento de hileras ante distintas situaciones de disponibilidad hídrica (ie., riego vs secano) y de competencia intra-específica (ie., por variación de la densidad de plantas) al evaluar híbridos de diferente sensibilidad al estrés en Pergamino (Cirilo, 2001). Como muestra la tabla, la modificación de la distancia entre hileras no alteró el rendimiento y la cantidad de granos logrados ni la  $e_i$  alcanzada en floración en ninguno de los híbridos ni densidades empleadas en la condición de riego. Sin embargo, el acercamiento de las hileras en la condición de secano, con una sequía instalada en la etapa vegetativa tardía (ie., se registró un período prolongado de 40 días con escasas lluvias y alta demanda atmosférica coincidente con la prefloración y floración del cultivo), provocó mermas de rendimiento que fueron más notables en el genotipo más sensible y con la densidad más alta usada en esa condición. El valor del intervalo entre la antesis de las flores de la panoja y la aparición de los estigmas de las flores de la espiga (ASI, por su descripción en inglés: *anthesis-silking interval*) como indicador de la afectación de las plantas por el déficit hídrico (Bolaños y Edmeades, 1993), se extendió hasta 5 días en el híbrido más sensible al acercar las hileras con la mayor densidad en la

condición de secano, correspondiéndole una merma de rendimiento de casi 2 Tn ha<sup>-1</sup> respecto de su siembra en hileras anchas en la misma condición.

#### 10.4. Consideraciones finales

La práctica de acercar hileras incrementa ei, lo que puede resultar beneficioso si el cultivo no alcanza la intercepción plena de la radiación incidente durante la floración cuando es sembrado a la distancia convencional entre hileras. Tal es el caso de cultivos de plantas pequeñas, de escasa foliosidad, de follaje erecto, defoliados o con menor expansión foliar por restricciones hídricas o nutricionales. En cambio, en ambientes sin severas restricciones hídricas ni nutricionales con cultivos bien manejados y con las densidades correctas, el maíz logra plena intercepción en floración, independientemente de la distancia entre las hileras, por lo que las ventajas de modificar el distanciamiento entre hileras son escasas y a menudo insignificantes. Es conveniente tener en cuenta que el empleo de entresurcos estrechos en cultivos densos reduce la ec en postfloración y, por lo tanto, la disponibilidad de fotoasimilados para los granos. Esto puede limitar el peso final del grano y el rendimiento según la relación fuente-destino establecida en el cultivo y aumentar la removilización de reservas desde los tallos y, por lo tanto, su quebrado. También es importante considerar que una sequía progresiva puede tornarse más severa en cultivos sembrados en hileras angostas, particularmente cuando se usan densidades que resultan excesivas para el ambiente hídrico instalado.

#### 10.5. Principales conceptos prácticos

- La reducción del distanciamiento entre hileras contribuye a inhibir el crecimiento de malezas y a mejorar la captura de nutrientes limitantes en el suelo al generar una distribución más uniforme de las plantas sobre el terreno.
- Cuando no existen limitaciones hídricas severas durante la floración, la respuesta del rendimiento a la reducción de la distancia entre hileras de siembra depende de la mejora en la cobertura que alcance el cultivo en ese momento crítico para la determinación del rendimiento. La respuesta es mayor cuanto menor es la intercepción de radiación solar que se logra con la distancia tradicional.
- La siembra en hileras cercanas puede dar beneficios cuando se emplean genotipos de planta pequeña con estructura erecta y poco foliosa.
- Cuando para una dada densidad de siembra no se alcance el IAFc con hileras distantes, la siembra en entresurcos más estrechos puede incrementar la captura de radiación si se emplean genotipos rígidos, pero será menor la ventaja a obtener con los genotipos plásticos.
- La incidencia de defoliaciones (por granizo, heladas, insectos, vientos, etc.)

puede traducirse en una deficiente cobertura del suelo y captura de radiación solar incidente en el cultivo cuando se emplean hileras distantes; por lo tanto, la siembra en hileras menos espaciadas puede resultar ventajosa para mitigar esos daños.

- Una baja disponibilidad de nutrientes no corregida oportunamente que limita la expansión de las hojas y su longevidad puede generar canopeos ineficientes en capturar plenamente la oferta de radiación durante la floración. En estos casos, una menor distancia entre hileras de siembra también puede ser ventajosa.
- El acortamiento de la distancia entre hileras incrementa el consumo de agua por el cultivo en la etapa vegetativa debido al mayor y más temprano sombreado del entresurco que puede intensificar los efectos negativos de la instalación de una sequía progresiva sobre la floración al reducir la reserva hídrica disponible.
- La siembra en hileras cercanas no ofrece ventajas de intercepción de radiación en ambientes de alta producción donde se utilizan altas densidades. Sin embargo su empleo puede resultar en menor producción fotosintética del cultivo en postfloración por empobrecimiento del ambiente lumínico del interior del canopeo que limita el peso de los granos e incrementa el quebrado de los tallos por mayor removilización de sus reservas. En ese caso es recomendable el anticipo de la cosecha para reducir las pérdidas en la recolección mecánica.

## 10.6. Referencias

- Alessi, J. y J.F. Power. 1982. Effects of plant and row spacing on dryland soybean yield and water-use efficiency. *Agronomy Journal*, 74: 851-854.
- Al-Kaisi, M., L. J. Brun, y J. W. Enz, 1989. Transpiration and evapotranspiration from maize as related to leaf area index. *Agricultural and forest meteorology*, 48: 111-116.
- Andrade, F.H. 1995. Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. *Field Crops Res.* 41: 1–12.
- Andrade, F.H., A.G. Cirilo, S.A. Uhart y M.E. Otegui. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Balcarce, INTA-UI. 292 pp.
- 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.
- Barbieri, P.A., H. Sainz Rozas, F.H. Andrade y H.E. Echeverría. 2000. Row spacing effects at different levels of nitrogen availability in maize. *Agron. J.* 92:283–288.
- Barbieri, P.A., H.E. Echeverría, H.R. Saínz Rozas y F.H. Andrade. 2008. Nitrogen use efficiency in maize as affected by nitrogen availability and row spacing. *Agron. J.* 100: 1094–1100. <https://doi.org/10.2134/agronj2006.0057>
- Barbieri, P., L. Echarte, A. della Maggiora, V.O. Sadras, H. Echeverria y F.H. Andrade. 2012. Maize evapotranspiration and water-use efficiency in response to row spacing. *Agron. J.* 104: 939–944. <https://doi.org/10.2134/agronj2012.0014>.
- Bavec, F. y M. Bavec. 2002. Effects of plant population on leaf area index, cob characteristics

- and grain yield of early maturing maize cultivars (FAO 100-400). *Eur. J. Agron.* 16: 151–159. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(01\)00126-5](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(01)00126-5).
- Bolaños, J. y G.O. Edmeades. 1993. Eight cycles of selection for drought tolerance in lowland tropical maize. II. Response in reproductive behavior. *Field Crops Research*. 31: 253-268.
- Borrás, L. y M.E. Otegui. 2001. Maize kernel weight response to postflowering source - Sink ratio. *Crop Sci.* 41.
- Borrás, L., M.E. Westgate y M.E. Otegui. 2003. Control of kernel weight and kernel water relations by post-flowering source-sink ratio in maize. *Ann. Bot.* 91. <https://doi.org/10.1093/aob/mcg090>
- Borrás, L., G.A. Slafer, y M.E. Otegui. 2004. Seed dry weight response to source–sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. *F. Crop. Res.* 86: 131–146. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.08.002>
- Bullock, D.G., R.L. Nielsen y W.E. Nyquist. 1988. A growth analysis comparison of corn grown in conventional and equidistant plant spacing. *Crop Sci.* 28; 254–258. <https://doi.org/10.2135/cropsci1988.0011183X002800020015x>.
- Cirilo A.G. 2000. Distancia entre surcos en maíz. *Revista de Tecnología Agropecuaria. INTA Pergamino*. Vol. V Nro. 14, Segundo Cuatrimestre: Mayo/Agosto 2000. Pág. 19-23.
- Cirilo, A.G. 2001. La distancia entre surcos y el rendimiento del maíz: Una interpretación ecofisiológica. *Revista de Tecnología Agropecuaria. INTA Pergamino*. Vol. VI Nro. 17, Segundo Cuatrimestre: Mayo/Agosto 2001. Pág. 26-30.
- Cirilo, A.G. 2002. Los surcos angostos en maíces de alta producción. *Revista de Tecnología Agropecuaria. INTA Pergamino*. Vol.VII Nro. 21, Segundo Cuatrimestre: Setiembre/Diciembre 2002. Pág. 12-15.
- Cirilo A.G. y F.H. Andrade. 1994. Sowing date and maize productivity. I. Crop growth and dry matter partitioning. *Crop Science* 34:1039-1043.
- Cirilo A.G. y F.H. Andrade. 1996. Sowing date and kernel weight in maize. *Crop Science*. 36:325-331.
- Cirilo A., F. Andrade, M. Otegui, G. Maddonni, C. Vega y O. Valentinuz. 2012. Ecofisiología del cultivo de maíz. P. 25-56. Capítulo 2. En “Bases para el manejo del cultivo de maíz”. G. Eyherabide (Ed.). Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires Argentina. 297pp.
- Curin, F., A.D. Severini, F.G. González y M.E. Otegui. 2020. Water and radiation use efficiencies in maize: Breeding effects on single-cross Argentine hybrids released between 1980 and 2012. *F. Crop. Res.* 246: 107683. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107683>.
- D’Andrea, K.E., M.E. Otegui, A.G. Cirilo y G. Eyherabide. 2006. Genotypic variability in morphological and physiological traits among maize inbred lines - Nitrogen responses. *Crop Sci.* 46. <https://doi.org/10.2135/cropsci2005.07-0195>.
- D’Andrea, K.E., C.V. Piedra, C. Mandolino, A.M. Cerri, A.G. Cirilo y M.E. Otegui. 2016. Contribution of reserves to kernel weight and grain yield determination in maize: phenotypic and genotypic variation. *Crop Sci.* 56:697–706
- Dardanelli, J., D. Collino, M.E. Otegui y V.O. Sadras. 2003. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano. Cap. 16; pág.: 325-386. En: *Producción de Cultivos de Granos. Bases Funcionales para su Manejo*. E.H. Satorre, R.L. Benech A., G.A. Slafer, E. B. de la Fuente, D.J. Miralles, M.E. Otegui, R.Savin (eds). Editorial Facultad de Agronomía. 783 pp. ISBN 950-29-0713-2.
- Debaeke, P. y A. Aboudrare. 2004. Adaptation of crop management to water-limited environments. *European Journal of Agronomy*, 21: 433-446.
- Duncan, W.G., D.L. Shaver y W.A. Williams. 1973. Insolation and Temperature Effects on Maize Growth and Yield1. *Crop Sci.* 13: 187-191. <https://doi.org/10.2135/crops->

- ci1973.0011183x001300020012x.
- Du Toit, A.S. y M.A. Prinsloo. 2000. Incorporating prolificacy into CERES–Maize prediction of kernel number. p. 103–113. In M.E. Westgate and K.J. Boote (ed.) *Physiology and modeling kernel set in maize*. CSSA Spec. Publ. 29. CSSA and ASA, Madison, WI.
- Echarte, L., F.H. Andrade, C.R.C. Vega, y M. Tollenaar. 2004. Kernel number determination in Argentinean maize hybrids released between 1965 and 1993. *Crop Sci.* 44: 1654–1661.
- Flénet, F., J.R. Kiniry, J.E. Board, J.E., M.E. Westgate. y D.C. Reicosky. 1996. Row spacing effects on light extinction coefficients of corn, sorghum, soybean, and sunflower. *Agron. J.* 88: 185-190. <https://doi.org/10.2134/agronj1996.00021962008800020011x>.
- Forcella, F., M.E. Westgate y D.D. Warnes, 1992. Effect of row width on herbicide and cultivation requirements in row crops. *American Journal of Alternative Agriculture*, 7: 161-167.
- Hao, B., Q. Xue, T.H. Marek, K.E. Jessup, J.D. Becker, X. Hou, W. Xu, E.D. Bynum, B.W. Bean, P.D. Colaizzi y T.A. Howell., 2019. Grain yield, evapotranspiration, and water-use efficiency of maize hybrids differing in drought tolerance. *Irrig. Sci.* 37: 25-34. <https://doi.org/10.1007/s00271-018-0597-5>
- Johnson G.A. y T.R. Hoverstad. 2002. Effect of row spacing and herbicide application timing on weed control and grain yield in corn (*Zea mays*). Cambridge University Press. *Weed Technology* Vol. 16, No. 3 (Jul. - Sep., 2002), pp. 548-553.
- Licht, M.A., M.R. Parvej, y E.E. Wright. 2019. Corn yield response to row spacing and plant population in Iowa. *Crop Forage Turfgrass Manage.* 5: 32. <https://doi:10.2134/cftm2019.05.0032>.
- Maddonni, G.A. y M.E. Otegui. 1996. Leaf area, light interception, and crop development in maize. *Field Crops Res.* 48:81–87. Maddonni, G.A., Cirilo, A.G., Otegui, M.E., 2006. Row width and maize grain yield. *Agron. J.* 98: 1532–1543. <https://doi.org/10.2134/agronj2006.0038>.
- Maddonni, G.A. y M.E. Otegui. 2006. Intra-specific competition in maize: Contribution of extreme plant hierarchies to grain yield, grain yield components and kernel composition. *F. Crop. Res.* 97: 155-166. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.09.013>.
- Maddonni, G.A. y J. Martínez-Bercovich. 2014. Row spacing, landscape position, and maize grain yield. Hindawi Publishing Corporation. *International Journal of Agronomy*. Volume 2014, Article ID 195012, 12 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/195012>.
- Maddonni, G.A., M.E. Otegui y A.G. Cirilo. 2001a. Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize canopy architecture and light attenuation. *F. Crop. Res.* 71: 183-193. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(01\)00158-7](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00158-7).
- Maddonni G.A, M. Chelle, J-L. Drouet, y B. Andrieu. 2001b. Light interception of contrasting azimuth canopies under square and rectangular plant spatial distributions: simulations and crop measurements. *Field Crop Res* 70: 1-3.
- Maddonni, G.A., M.E. Otegui, B. Andrieu, M. Chelle y J.J. Casal 2002. Maize leaves turn away from neighbors. *Plant Physiology* 130: 1181-1189. <https://doi/10.1104/pp.009738>.
- Maddonni G.A., A.G. Cirilo y M.E. Otegui. 2006. Row width and maize grain yield. *Agron. J.* 98:1532-1543.
- McNaughton, K. G., y P. G. Jarvis. 1983. Predicting effects of vegetation changes on transpiration and evaporation, in *Water Deficits and Plant Growth*, vol. 7, edited by T. T. Kozlowsky, pp. 1-47, Academie, San Diego, Calif.
- Martínez Dalmás M., J.A. Di Matteo, A. Cerrudo, L. Echarte y F.H. Andrade. 2013. Dinámica del contenido de azúcares en tallo de maíz para híbridos liberados entre 1965 y 2012 en Argentina. II Workshop Internacional de Ecofisiología de Cultivos Aplicada al Mejoramiento Vegetal-Raíces/UIB-INTA/SAFV. Mar del Plata, 26 y 27 agosto 2013.

## Versión CD

- Mercau, J.L. y M.E. Otegui. 2014. A modeling approach to explore water management strategies for late-sown maize and double-cropped wheat-maize in the rain-fed Pampas region of Argentina. In: Lajpat Ahuja, Liwang Ma, and Robert Lascano (Eds), 'Practical Applications of Agricultural System Models to Optimize the Use of Limited Water'. ASA-CSSA-SSSA, Baltimore, EEUU. ISBN 978-0-89118-343-3. pp. 351-374.
- Olson, R.A. y D.J. Sander. 1988. Corn production, in: Sprague, G.F., Dudley, J.W. (Eds.), Corn and corn improvement. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Madison, pp. 639-686.
- Otegui, M.E. 2009. Bases ecofisiológicas para el manejo del agua en cultivos para grano conducidos en secano. En: Hoffman, E., Ribeiro, A., Ernst, O. y García, F.O. (eds). Primer Simposio Nacional de Agricultura de Secano. Universidad de la República, Uruguay. ISBN: 978-9974-00-583-9. pp: 7-15.
- Otegui, M.E., J.L. Mercau y F.J. Menéndez. 2002. Estrategias de manejo para la producción de maíz tardío y de segunda. En: E.H. Satorre (ed.), Guía Dekalb del Cultivo de Maíz. Servicios y Marketing Agropecuario, Argentina. ISBN 987-20358-0-6. pp. 170-184.
- Otegui, M.E., A.G. Cirilo y G.A. Maddonni. 2007. Achicando la brecha con los rendimientos potenciales de maíz: Fundamentos, posibilidades y limitaciones para la intensificación del cultivo. Actas del Congreso Mundo Agro 2007, Sema-Crea-Aapresid, Bs.As., 26 y 27 junio 2007, pág.: 67-73
- Ottman, M.J. y L.F. Welch. 1989. Planting patterns and radiation interception, plant nutrient concentration, and yield in corn. *Agron. J.* 81: 167. <https://doi.org/10.2134/agronj1989.00021962008100020006x>.
- Passioura, J. 2006. Increasing crop productivity when water is scarce—from breeding to field management. *Agric. Water Manag.* 80: 176-196. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.07.012>
- Pendleton, J.W., G.E. Smith, S.R. Winter y T.J. Johnston. 1968. Field investigations of the relationships of leaf angle in corn (*Zea mays* L.) to grain yield and apparent photosynthesis, *Agron. J.* 60: 422-424. <https://doi.org/10.2134/agronj1968.00021962006000040027x>
- Riahinia, S. y S.M. Dehdashti. 2008. Row spacing effects on light extinction coefficients, leaf area index, leaf area index affecting in photosynthesis and grain yield of corn (*Zea mays* L.) and Sunflower (*Helianthus annuus* L.). *J. Biol. Sci.* 8: 954–957. <https://doi.org/10.3923/jbs.2008.954.957>.
- Rosolem, C.A., S.M. Kato, J.R. Machado y S.J. Bicudo. 1993. Nitrogen redistribution to sorghum grains as affected by plant competition. In *Plant Nutrition—from Genetic Engineering to Field Practice* (pp. 219-222). Springer, Dordrecht.
- Rotili, D.H., L.G. Abeledo, S. Martínez Larrea y G.A. Maddonni. 2022. Grain yield and kernel setting of multiple-shoot and/or multiple-ear maize hybrid. *Field Crops Research*. Volume 279, 1 April 2022, 108471. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108471>
- Rotili, D.H., V. Sadras, L.G. Abeledo, M. Ferreira, J. Micheloud, G. Duarte, P. Girón, M. Ermácora y G.A. Maddonni. 2021. Impacts of vegetative and reproductive plasticity associated with tillering in maize crops in low-yielding environments: A physiological framework. *Field Crops Research* 265: 108107. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108107>.
- Sadras, V.O., L. Echarte y F.H. Andrade. 2000. Profiles of leaf senescence during reproductive growth of sunflower and maize. *Ann. Bot.* 85:187-195. <https://doi.org/10.1006?anbo.1999.1013>
- Salah, H. y F. Tardieu. 1997. Control of leaf expansion rate of droughted maize plants under fluctuating evaporative demand (A superposition of hydraulic and chemical messag-

- es?). *Plant Physiol.* 114: 893-900. <https://doi.org/10.1104/pp.114.3.893>.
- Scarsbrook, C.E. y B.D. Doss. 1973. Leaf area index and radiation as related to corn yield. *Agron. J.* 65: 459-461. <https://doi.org/10.2134/agronj1973.00021962006500030031x>.
- Stickler, F.C. 1964. Row width and plant population studies with corn 1. *Agronomy Journal*, 56: 438-441.
- Teasdale, J. R. 1995. Influence of narrow row/high population corn (*Zea mays*) on weed control and light transmittance. *Weed technology* 9:113-118.
- Thomas, H. y H. Ougham. 2015. Senescence and crop performance, Second Edi. ed, *Crop Physiology: Applications for Genetic Improvement and Agronomy: Second Edition*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417104-6.00010-8>
- Uhart, S.A. y F.H. Andrade. 1995a. Nitrogen and carbon accumulation and remobilization during grain filling in maize under different source/sink ratios. *Crop Sci.* 35: 183-190.
- Uhart, S.A. y F.H. Andrade. 1995b. Nitrogen deficiency in maize: I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning, and kernel set. *Crop Sci.* 35: 1376-1383. <https://doi.org/10.2135/cropsci1995.0011183X003500050020x>.
- van Roekel, R.J. y J.A. Coulter. 2012. Agronomic responses of corn hybrids to row width and plant density. *Agron. J.* 104: 612-620. <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0380>.
- Villalobos, F.J., y E. Fereres, 1990. Evaporation measurements beneath corn, cotton, and sunflower canopies. *Agronomy Journal*, 82: 1153-1159.
- Westgate, M.E., F. Forcella, D.C. Reicosky y J. Somsen. 1997. Rapid canopy closure for maize production in the northern US corn belt: RUE and grain yield. *F. Crops Res.* 49: 249-258.
- Zaffaroni, E. y A.A. Schneiter, 1989. Water-use efficiency and light interception of semidwarf and standard-height sunflower hybrids grown in different row arrangements. *Agronomy Journal*, 81: 831-836.