

INTERCULTIVO DE MAÍZ TEMPRANO-TARDÍO COMO ESTRATEGIA PRODUCTIVA EN EL NOROESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Francisco Julio Melcon¹, Martín Sackmann Varela² y María de los Ángeles Rossini³

¹LIAG Argentina S.A.

²Los Grobo Agropecuaria

³CONICET-UNNOBA. E-mail: rossinimariaa@gmail.com

Recibido: 03/11/2021
Aceptado: 20/01/2022

RESUMEN

El cultivo de maíz se ha expandido fuera de la zona templado-húmeda de producción tradicional hacia tierras menos productivas y con mayores limitaciones para el rendimiento. Para atenuar estas limitaciones ha surgido la fecha de siembra tardía, la cual posee menor rendimiento potencial que la fecha de siembra temprana, pero una mayor estabilidad en los rendimientos. El intercultivo de maíz temprano y tardío podría ser una buena alternativa para obtener los beneficios de ambas estrategias. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el rendimiento absoluto y relativo (RR) del intercultivo maíz temprano-tardío (primera quincena octubre – primera quincena diciembre) en diferentes proporciones (33-67% y 50-50% de temprano y tardío, respectivamente) en relación a los cultivos puros de maíz temprano y maíz tardío. Se llevaron a cabo experimentos a campo en dos establecimientos localizados en los partidos de L. N. Alem y Pehuajó (provincia de Buenos Aires, Argentina). Los rendimientos absolutos de ambas combinaciones de intercultivo fueron mayores en un 93% (8440 kg ha⁻¹; $P < 0,10$) al cultivo puro de maíz temprano (4370 kg ha⁻¹) sólo en el ambiente con mayor restricción temprana, aunque no superaron a la opción del cultivo puro de maíz tardío (9549 kg ha⁻¹). En ambas combinaciones, sólo en el ambiente más restrictivo el intercultivo temprano compensó el menor rendimiento del intercultivo tardío resultando en un RR total mayor a 1 (1,41 y 1,58 para la combinación 33-67% y 50-50%, respectivamente). El ajuste de estrategias de manejo (elección de genotipos, proporción dentro del intercultivo, densidad) podría mejorar el resultado del intercultivo respecto al cultivo puro del tardío.

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

INTERCROPPING OF EARLY-LATE MAIZE AS A PRODUCTIVE STRATEGY IN THE NORTH-WEST OF THE BUENOS AIRES PROVINCE

SUMMARY

Maize crops have expanded outside the temperate-humid zone of traditional production towards less productive lands with greater limitations to grain yield. To mitigate these constraints, late sowing date has emerged, which has lower potential grain yield than the early sowing date but greater stability. Intercropping of early and late maize could be a good alternative to obtain the benefits of both strategies. The objective of the work was to evaluate the absolute and relative (RY) grain yield of the early-late (1st two weeks of October and December, respectively) corn intercropping in different proportions (33-67% and 50-50% of early and late, respectively) compared to the pure crop of early and late maize. Field experiments were carried out in two farms located in the districts of L. N. Alem and in Pehuajó (Buenos Aires province, Argentina). Absolute grain yields of both intercropping combinations were 93% higher (8440 kg ha⁻¹; $P < 0.10$) than the early maize pure crop (4370 kg ha⁻¹) only in the highest early growth restriction environment, although they did not exceed the late pure crop option (9549 kg ha⁻¹). In both combinations, only in the most restrictive environment the early intercropping compensated for the lower performance of late intercropping, with a total RY greater than 1 (1.41 y 1.58 for 33-67% and 50-50%, respectively). The adjustment of management strategies (genotypes, proportion within intercropping, stand density) could improve the result of intercropping respect to late monoculture.

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

INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, la producción de maíz en la Argentina se concentró en la sub-región pampeana más productiva, es decir, la Pampa Ondulada (32° a 35,8° S y 58° a 62° O) (Hall, 1984). Junto a los cambios en las tendencias del clima (Barros, 2008), se ha observado la expansión de la agricultura hacia zonas más semiáridas como la Pampa Interior (al norte, oeste y sudoeste de la Pampa Ondulada). De esta manera, el cultivo de maíz se ha expandido fuera de la zona templado-húmeda de producción tradicional hacia tierras menos productivas y con mayores limitaciones para el rendimiento del cultivo.

En la región Pampeana pueden distinguirse dos grandes sistemas productivos del cultivo de maíz. En primer lugar, en el sistema tradicional de producción que se denomina maíz temprano, el cultivo se siembra hacia fines del invierno-inicio de primavera (según la zona, la ventana de siembra generalmente abarca dos meses comenzando a mediados de agosto). El otro sistema es el maíz tardío en el cual el cultivo se siembra a fines de primavera-inicio de verano. En este caso, el cultivo puede sembrarse en una ventana de 1-1,5 meses desde mediados de noviembre hasta usualmente enero. Estos sistemas productivos exploran diferentes ambientes, ya sea por ubicar sus etapas fenológicas bajo distintas condiciones climáticas (Maddonni, 2012), implantarse sobre condiciones de estado del suelo diferentes, tener diferentes tipos de manejo (e.g. fertilización) o exponerse a distintas adversidades bióticas. Así, cada uno presenta ventajas y desventajas que se manifiestan en los rendimientos obtenidos (Bert y Satorre, 2012).

Al igual que en otros cultivos de granos, el rendimiento en maíz puede ser estudiado a través de sus componentes numéricos: el número de granos (NG) por unidad de superficie y el peso individual de los granos (PG). El NG (componente más importante) queda establecido en un período de aproximadamente 30 días centrado en la floración femenina, motivo por el cual se definió a esta etapa como período crítico (Cárcova *et al.*, 2003). La fecha de siembra temprana, debido a las condiciones térmicas y radiactivas durante el período crítico (fines de diciembre), puede generar un mayor NG y PG y eso determina un mayor rendimiento potencial que la fecha tardía (período crítico en febrero) (Otegui *et al.*, 1995; Presello *et al.*, 2016). Sin embargo, estas condiciones de las siembras tempranas están acompañadas de una mayor demanda atmosférica y, en consecuencia, mayor probabilidad de estrés hídrico particularmente durante el período crítico del cultivo (Maddonni, 2012).

Una alternativa para evitar la coincidencia de la floración con eventos de déficit hídrico es retrasar la siembra a fines de la primavera. Esta práctica ha sido viable gracias a la aparición de híbridos Bt y al desarrollo de tecnologías para el control de las principales orugas que afectan la planta y la espiga (Williams *et al.*, 1997). Además, dada la estacionalidad de las lluvias pampeanas (mayores lluvias en semestre cálido) es más factible que el suelo presente un mayor nivel de recarga a la siembra y al inicio del período crítico de los maíces tardíos. Esto permite obtener una mayor estabilidad en los rendimientos a través de los años y ambientes (Florío *et al.*, 2014).

Si bien en zonas templadas son poco frecuentes, los intercultivos o cultivos asociados recientemente han despertado el interés de los investigadores. En estos sistemas de producción dos o más cultivos crecen al mismo tiempo en una misma superficie de tierra. Este sistema no se reduce sólo a la mezcla de diferentes especies, sino también a la combinación de cultivares de una misma especie, y ésta es también una alternativa factible para incrementar el rendimiento de los cultivos. El intercultivo de maíz temprano y tardío permitiría una estación de crecimiento más prolongada y, por lo tanto, la posibilidad de una mayor captación de recursos (radiación, agua, nutrientes) por parte del cultivo. Este sistema productivo podría ser una buena alternativa para colocar el período crítico para la determinación del NG en distintas fechas. De esta manera, la ventana temporal crítica para la definición del NG sería más amplia y cualquier incidencia de un estrés dentro de la misma impactaría en menor magnitud.

Las ventajas de los intercultivos y su rol en el marco de una agricultura sustentable se basan en dos grandes aspectos: (i) una mayor eficiencia en el uso de los recursos, y (ii) un mejor comportamiento (estabilidad) ante la presencia de estreses bióticos y abióticos. Las ventajas de los intercultivos debidas a un mejor uso de los recursos se registran más frecuentemente cuando se desarrollan en condiciones subóptimas para el crecimiento del cultivo (Sarandón y Chamorro, 2003). De esta manera, el intercultivo de maíz temprano-tardío tendría la ventaja del mayor rendimiento potencial del temprano y mayor estabilidad del tardío.

Los intercultivos pueden evaluarse mediante el rendimiento relativo (RR) con respecto al cultivo puro (Ecuación 1).

$$RR_A = \frac{\text{Rendimiento A intercultivo}}{\text{Rendimiento A cultivo puro}} \quad [\text{Ecuación 1}]$$

donde RR_A es el rendimiento relativo del cultivo A. Así, el RR puede calcularse para todos los cultivos que integren el intercultivo. La sumatoria de los rendimientos relativos (RR total) provee una medida del tipo de interacción entre los cultivos dentro del sistema de intercultivo. Si el RR total es menor a 1 es perjudicial hacer intercultivo (e.g. fitotoxicidad, alelopatía). Si es igual a uno (1) significa que hay plena competencia y no hay beneficio del intercultivo. Finalmente, si el RR total es mayor a uno (1), ambos cultivos se benefician estando juntos (e.g. se complementan) (Rao y Willey, 1980; Furkai y Trenbath, 1993). El RR es equivalente a lo que se menciona como LER (por sus siglas en inglés: "Land Equivalent Ratio", uso equivalente de la tierra) en la literatura internacional. El RR como herramienta para evaluar la conveniencia o no de los intercultivos se utiliza debido a que generalmente las especies que conforman el intercultivo se cosechan de manera separada (e.g. son especies distintas). En este trabajo, el intercultivo está compuesto por una única especie que difiere en la fecha de siembra pero que se cosecha de manera conjunta. Es por ello que se evaluará el rendimiento absoluto de las estrategias evaluadas y luego se analizarán los rendimientos relativos.

Dentro de un intercultivo, la proporción de cada componente (Samui *et al.*, 1984), la distribución espacial (Putnam y Allan, 1992) y las interacciones entre los componentes resultan significativamente importantes en el resultado final. La proporción de temprano-tardío en intercultivo para la obtención de un RR mayor a uno (1) dependerá de las condiciones de crecimiento que favorezcan las ventajas de ambas fechas (potencialidad del temprano y estabilidad del tardío). Se espera que en situaciones de elevado estrés durante el período crítico temprano sea conveniente una baja proporción del temprano para aliviar la competencia por los recursos. En el caso de un ambiente bueno para el temprano y medianamente restrictivo para el tardío la combinación más conveniente sería una menor proporción del tardío.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el rendimiento absoluto y relativo del intercultivo maíz temprano-tardío en diferentes proporciones en relación al cultivo puro de maíz temprano y de maíz tardío. Además, se analizaron los componentes del rendimiento (NG y PG) en cada una de las estrategias y la productividad de las diferentes combinaciones en un sistema de diversificación. La primera hipótesis del trabajo fue que el rendimiento absoluto del maíz en intercultivo es mayor al rendimiento de los cultivos puros tempranos y tardíos.

La segunda hipótesis fue que, en un esquema productivo, el intercultivo tiene mayor productividad que la opción de diversificación de fechas de siembra temprana y tardía. Hasta el momento, no existen antecedentes publicados sobre el estudio de esta alternativa de intercultivo de maíz temprano-tardío, por lo que los resultados del presente estudio resultan originalmente novedosos en este tópico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño experimental

Se realizó un experimento a campo en dos estancias localizadas en el noroeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina): (i) Las Balas (34°24'22,62" S, 61°35'18,69" O), perteneciente a la firma LIAG Argentina S.A, en la localidad de Vedia, partido de L. N. Alem y (ii) La Joaquina (35°46'29,67" S, 62°10'47,62" O), propiedad de la firma CURARU S.A., ubicada en Estación El Recado, partido de Pehuajó. El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. Los tratamientos (T1-T4) incluyeron distintas combinaciones de maíz tardío y temprano, sembrados en intercultivo:

T1: 100% maíz temprano-0% maíz tardío.

T2: 50% maíz temprano-50% maíz tardío.

T3: 33% maíz temprano-67% maíz tardío.

T4: 0% maíz temprano-100% maíz tardío.

La siembra temprana se llevó a cabo el 7 de octubre de 2013 en Las Balas, el híbrido utilizado fue DK 7210 VT3P. Se aplicaron, en forma anticipada (8/9/2013) e incorporada, 180 kg ha⁻¹ de urea. A los tres días de la siembra temprana, se pulverizó con herbicidas, glifosato 66% 1,6 l ha⁻¹, atrazina 90% 1 kg ha⁻¹, 0,3 l ha⁻¹ 2,4D, e insecticidas con una dosis de 0,25 l ha⁻¹ de gammacilotrina. Se realizó una segunda aplicación de herbicidas el 16 de octubre con 1,6 l ha⁻¹ de glifosato 66% y 0,5 kg ha⁻¹ de atrazina 90%. En el caso de La Joaquina, la siembra se realizó el 3 de octubre de 2013, con el híbrido LT 624 VT3P, fertilizando en la línea con 70 kg ha⁻¹ de MAP. Al día siguiente, se aplicaron los siguientes herbicidas: 3 l ha⁻¹ de atrazina 50%, 1 l ha⁻¹ de acetoclor y 3 l ha⁻¹ de glifosato (360 gr e.a l⁻¹). Se aplicaron al voleo 120 kg de urea ha⁻¹ cuando el cultivo se encontraba en V4, según la escala de Ritchie y Hanway (1982) (e.g. 50% de las plantas del cultivo con cuatro hojas completamente desplegadas, es decir con lígula visible).

La siembra del maíz tardío se realizó cuando el maíz temprano alcanzó antesis (50% de las plantas con una antera emitiendo polen). Para Las Balas la siembra fue el 18 de diciembre y en La Joaquina el 12 de diciembre. En ambos casos la siembra fue manual con bastones sembradores colocando una semilla por golpe. En ambos casos luego de la siembra se realizó una aplicación de glifosato.

En cada establecimiento, el genotipo utilizado fue el mismo para ambas fechas de siembra. Ambos híbridos poseen similar comportamiento sanitario y madurez relativa (122 días el DK 7210 VT3P y 123 días para LT 624 VT3P). El ensayo se rodeó con 2 m (cuatro hileras) de cultivo de maíz. La siembra del maíz temprano se realizó con maquinaria propia. La unidad experimental fue de 13 hileras de 10 m de largo distanciadas a 0,52 m. En el caso de la combinación 50-50% maíz temprano y tardío (T2), se intercaló en combinaciones de dos hileras cada tratamiento. Mientras que el tratamiento 33-67% maíz temprano-tardío (T3) incluyó una hilera sembrada temprano y dos hileras de siembra tardía. Comúnmente, en ambientes restrictivos la densidad de siembra es menor, lo que resulta en un alivio de la competencia intraespecífica por los recursos (Sackmann *et al.*, 2019). Por ello, la densidad de siembra objetivo fue de 65.000 pl ha⁻¹ para el caso de las siembras tempranas (tanto en cultivo puro como en intercultivo) y de 60.000 pl ha⁻¹ en el sistema tardío. Las

hileras correspondientes al maíz tardío fueron raleadas luego de la emergencia del maíz temprano.

Condiciones de crecimiento durante la estación de cultivo

El período crítico para la determinación del rendimiento del cultivo fue determinado como la ventana temporal ± 15 días desde R1, según la escala de Ritchie y Hanway (1982) (e.g. 50% de las plantas del cultivo emitiendo estigmas -floración femenina-). En la fecha temprana de Las Balas, este período abarcó del 3 al 31 de diciembre de 2013 y se caracterizó por una temperatura media de 25 °C, una radiación incidente acumulada de 826 MJ m⁻² y 44 mm de precipitación (Cuadro 1). En la fecha tardía (desde el 28 de enero al 24 de febrero de 2014), el cultivo exploró una temperatura media de 22 °C, la radiación incidente acumulada fue de 606 MJ m⁻² y 250 mm de precipitación.

En el Establecimiento La Joaquina, el período crítico del cultivo de fecha temprana (del 3 al 31 de diciembre de 2013) se caracterizó por una temperatura media de 26 °C (con breves períodos de temperaturas por encima de los 35 °C), una radiación incidente acumulada de 820 MJ m⁻² y 35 mm de precipitaciones (Cuadro 1). En el cultivo tardío (desde el 14 de enero hasta el 10 de febrero de 2014), la temperatura media fue de 25 °C, la radiación solar incidente acumulada de 703 MJ m⁻² y las precipitaciones de 89 mm.

Cuadro 1. Precipitaciones, temperatura media, mínima, máxima y radiación solar incidente promedio por mes para los establecimientos Las Balas y La Joaquina.

Las Balas	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.
Precipitaciones (mm)	23	47	216	53	173	221	106
T° media (°C)	16	18	20	25	24	21	18
T° mínima (°C)	8	11	13	17	18	16	11
T° máxima (°C)	24	25	28	33	31	27	26
Radiación solar incidente (MJ m ⁻² d ⁻¹)	17	21	27	29	30	21	20
La Joaquina							
Precipitaciones (mm)	37	59	151	34	19	140	115
T° media (°C)	12	17	21	26	25	22	20
T° mínima (°C)	5	11	14	18	16	16	12
T° máxima (°C)	20	25	29	34	34	29	28
Radiación solar incidente (MJ m ⁻² d ⁻¹)	14	19	25	20	29	21	19

Estación meteorológica modelo: Imetos, Las Balas. Estación meteorológica modelo: Nimbus THP. Trenque Lauquen, predio de Aeroclub, EEA Villegas.

Determinaciones

La cosecha de cada experimento se realizó para las combinaciones temprano-tardío en forma conjunta, en Las Balas se realizó el 10 de julio, siendo la humedad del temprano 14,3% y del tardío 18,2%. En La Joaquina, la trilla fue anterior, el 20 de abril, promediando una humedad de 16% para el temprano y 30% para el tardío. La cosecha de espigas se realizó en forma manual sobre dos hileras vecinas (preferentemente ubicadas en el centro de la parcela) para los tratamientos T1, T2 y T4, o tres hileras contiguas en el tratamiento T3. De cada hilera sólo se cosecharon los 5 m centrales (unidad muestral). Las espigas cosechadas en cada hilera fueron colocadas en bolsas individuales para la posterior determinación de los componentes numéricos del rendimiento. El rendimiento en grano fue estimado para cada hilera a partir del peso húmedo de las espigas desgranadas. Para tal fin, una vez recolectadas las espigas fueron deschaladas y pesadas. Posteriormente, se tomó una muestra representativa de granos y se determinó el contenido de humedad de los granos. A partir de esta información se estimó el rendimiento en grano en base seca por unidad de superficie.

Para ambas fechas de siembra en intercultivo (temprano y tardío) se cuantificó el rendimiento relativo -RR- según la Ecuación 1 y la sumatoria de ambos RR dio como resultado el rendimiento relativo total del intercultivo.

Para ambas fechas (temp: temprano; tard: tardío) en intercultivo se evaluó el peso de mil granos relativo (P1000R) (ecuaciones 2 y 3):

$$P1000 R \text{ temp.} = \frac{P1000 \text{ temp. intercultivo}}{P1000 \text{ temp. cultivo puro}} \quad [\text{Ecuación 2}]$$

$$P1000 R \text{ tard.} = \frac{P1000 \text{ tard. intercultivo}}{P1000 \text{ tard. cultivo puro}} \quad [\text{Ecuación 3}]$$

Similarmente, se cuantificó el número de granos relativo por unidad de área (hectárea) (NGR) (ecuaciones 4 y 5):

$$NGR \text{ temp.} = \frac{NG \text{ temp. intercultivo}}{NG \text{ temp. cultivo puro}} \quad [\text{Ecuación 4}]$$

$$NGR \text{ tard.} = \frac{NG \text{ tard. intercultivo}}{NG \text{ tard. cultivo puro}} \quad [\text{Ecuación 5}]$$

El efecto de los factores evaluados (intercultivo) sobre las variables de interés (rendimiento absoluto, NG, PG, RR, NGR y P1000R) se analizaron mediante un ANOVA (INFOSTAT; Di Rienzo *et al.*, 2017). Las localidades se analizaron por separado, considerando el resultado significativo ($P < 0,05$) del test de homogeneidad de varianzas. Se trabajó con un $P < 0,10$ debido a que se analizaron con datos provenientes de ensayos de campo, teniendo una tolerancia del 10% de estar cometiendo el error de rechazar la hipótesis nula cuando esta es verdadera. Así, se consideraron diferencias significativas con un 90% de probabilidad. En el caso de la variable "rendimiento" analizada para el establecimiento La Joaquina, los valores se transformaron a través de la función Log2, para lograr una distribución normal.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento, número y peso de los granos

La implantación y el establecimiento de los cultivos de maíz tardíos en intercultivo resultaron óptimos, pese a tener mayores riesgos de implantación respecto de un temprano y de un tardío en cultivo puro. Esto es debido a que se siembra en un momento en el cual es altamente probable la ocurrencia de déficit hídrico agravado por un alto consumo de agua del cultivo sembrado temprano, el cual se encuentra en plena floración.

En el establecimiento Las Balas no se registraron diferencias significativas en los rendimientos absolutos entre los tratamientos (Cuadro 2). En La Joaquina, los rendimientos absolutos de ambas combinaciones de intercultivo fueron superiores al cultivo puro de maíz temprano ($P < 0,10$; Cuadro 2). El tratamiento 100% tardío obtuvo el mayor rendimiento, aunque no significativamente diferente a los tratamientos de intercultivo. Por ello, la primera hipótesis que plantea que el rendimiento absoluto del maíz en intercultivo es mayor al rendimiento de los cultivos puros temprano y tardío fue parcialmente rechazada.

En cuanto a los componentes numéricos del rendimiento, en Las Balas el NG no difirió entre los tratamientos, pero sí hubo diferencias significativas en el P1000 ($P < 0,10$; Cuadro 2), donde el tratamiento de 100% tardío presentó el mayor valor respecto al resto de los tratamientos. En la Joaquina, el NG de los tratamientos de intercultivo fueron significativamente mayores ($P < 0,10$) al NG del 100% tardío y éste al 100% temprano. El P1000 en el tratamiento 100% tardío resultó significativamente mayor al resto de los tratamientos ($P < 0,10$).

Cuadro 2. Rendimiento absoluto, número de granos m⁻² (NG), peso de los granos (P1000) y sus respectivos valores de desvío estándar (DE) para las diferentes combinaciones de intercultivo temprano-tardío en los establecimientos Las Balas y La Joaquina.

Establecimiento	Tratamiento	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	DE	NG (m ⁻²)	DE	P1000 (g)	DE
Las Balas	100% temprano	8744	1115 A	3202	610 A	273	7 A
	33% tempr. - 67% tardío	9008	483 A	3361	705 A	268	69 A
	50% tempr. - 50% tardío	8423	2103 A	3108	1000 A	271	35 A
	100% tardío	9432	660 A	3345	264 A	282	10 B
	DMS*	1533		610		6	
	CV	12%		21%		12%	
La Joaquina	100% temprano	4370	1250 A	2288	211 C	191	19 A
	33% tempr. - 67% tardío	8443	413 B	3703	562 A	228	19 B
	50% tempr. - 50% tardío	8437	253 B	3870	716 A	218	17 AB
	100% tardío	9549	1434 B	2920	417 B	327	22 C
	DMS*	1466		630		32	
	CV	29%		22%		20%	

*LSD Fisher, letras diferentes indican diferencias entre tratamientos dentro de cada establecimiento, $P < 0,10$.

Estos resultados explican que el mayor rendimiento en el tratamiento tardío (en el caso de la Joaquina) fue explicado principalmente por un mayor PG. Si bien la estrategia de maíz en siembra temprana tiene mayor potencial de rendimiento que el tardío (Bert y Satorre, 2012), ésta tiene mayor probabilidad de ocurrencia de un estrés hídrico o térmico durante el período crítico para la determinación del rendimiento (Maddoni, 2012). Esto fue evidente en el establecimiento La Joaquina, donde el período crítico del cultivo temprano coincidió con un período de bajas precipitaciones y eventos de elevadas temperaturas (Cuadro 1), lo que influyó sobre uno de los componentes numéricos del rendimiento (e.g. NG y P1000) (Mayer *et al.*, 2012). Al igual que para el estrés hídrico, el mayor impacto de un estrés térmico sobre el rendimiento se origina cuando el mismo tiene lugar alrededor de floración, ya que provoca fallas en la fijación de granos asociadas a la inviabilidad de los granos de polen, la alteración en las dinámicas de floración y el aborto de granos (Barnabás, 2008; Cicchino *et al.*, 2010; Rattalino *et al.*, 2011).

Respecto al PG, breves períodos de estrés térmico en posfloración causan un cese anticipado del llenado (Rattalino *et al.*, 2011; Mayer *et al.*, 2014) originando granos livianos (Mayer *et al.*, 2014; 2016), tal como resultó en La Joaquina (Cuadro 2) donde el tratamiento 100% temprano presentó el P1000 más bajo de los

tratamientos, posiblemente debido a un estrés térmico luego de la floración.

En resumen, el cultivo tardío fue superior al intercultivo y este al temprano sólo en el ambiente donde existió una severa restricción hídrica y altas temperaturas durante el período crítico de la fecha temprana. El ajuste de las variables de manejo (elección de genotipos, densidad, proporción de cada fecha dentro del esquema y fertilización) pueden revertir este resultado. Adicionalmente, un análisis longitudinal (en el tiempo) podría brindar mayor información sobre la estabilidad de cada uno de los sistemas (combinado con un análisis de interacción genotipo-ambiente). Además, sería importante analizar estas estrategias en años en los cuales el déficit de recursos afecte a los maíces sembrados en fechas tardías o en ambientes caracterizados por una baja oferta de recursos en la ventana temporal de crecimiento para el cultivo.

Rendimiento y componentes numéricos relativos

En el establecimiento Las Balas, los RR tempranos de ambas opciones de intercultivo resultaron mayores a la proporción del área ocupada. Así, se obtuvo un RR del temprano de 0,46 cuando la proporción del mismo en intercultivo fue de 33% y de 0,69 cuando este representó el 50% de la combinación (Cuadro 3). Contrariamente, el RR tardío fue en ambos casos inferior a

la proporción de superficie ocupada por este cultivo (0,52 y 0,32 para su participación del 67% y 50% de la superficie, respectivamente). En ambas combinaciones el RR total resultó cercano a uno (1). En el establecimiento La Joaquina, el RR del temprano resultó muy superior al porcentaje de superficie ocupada por este cultivo: 0,93 y 1,17 para las combinaciones 33-67% y 50-50% temprano-tardío, respectivamente (Cuadro 3). Similar al establecimiento Las Balas, el RR tardío resultó en ambas combinaciones inferior a la proporción de superficie ocupada por este cultivo, con un RR de 0,48 para la combinación 33-67% temprano-tardío, y 0,38 para la proporción 50-50%. El RR total en ambas combinaciones de intercultivo resultó mayor a uno (1).

En Las Balas, el número de granos relativo (NGR) del temprano para la combinación 33-67% fue un 15% mayor en comparación con el cultivo puro (NGR= 0,38 vs. proporción de la superficie ocupada= 0,33) (Cuadro 3). Para la combinación 50-50% maíz temprano-maíz tardío, el NGR del temprano fue un 26% mayor a la proporción en intercultivo (0,63 vs. 0,50). En cuanto al intercultivo tardío, ambos NGR resultaron menores a la proporción de esta fecha dentro del intercultivo (6% y 28% en la proporción de 67% y 50%, respectivamente). En La Joaquina, el NGR del maíz temprano en la combinación 33-67% resultó significativamente mayor (133%) a su proporción dentro del intercultivo (Cuadro 3). En la combinación 50-50%, el NGR fue levemente mayor (8%) a la proporción ocupada por el temprano en el intercultivo. El NGR del tardío en ambas combinaciones resultó significativamente menor a la proporción del mismo dentro del intercultivo (51% y 48% en la proporción de 67% y 50%, respectivamente).

En cuanto al peso de 1000 granos relativo (P1000R)

del maíz temprano en intercultivo, en ambas combinaciones en el establecimiento Las Balas, resultó mayor que en el cultivo puro (22% en la combinación 33-67% y un 8% en la 50-50%) (Cuadro 3). El P1000R en el maíz tardío, en ambas combinaciones de intercultivo, resultó menor al cultivo puro (un 14% para el tratamiento 33-67% y un 11% para el 50-50%). En La Joaquina, se observó un comportamiento similar al de los cultivos sembrados en Las Balas, sin registrar diferencias significativas entre los tratamientos. Los P1000R del temprano, en ambas combinaciones, resultaron mayores que en el cultivo puro temprano y los P1000R del maíz tardío registraron menores valores que en el cultivo puro tardío (Cuadro 3).

El análisis de los RR brindó información sobre la respuesta positiva del cultivo (del temprano en intercultivo) cuando se disminuyó la competencia mediante una menor densidad de plantas (un 50% y 67% respecto al cultivo puro del temprano). La competencia, proceso a través del cual las plantas comparten recursos que están provistos de forma insuficiente para satisfacer su demanda combinada, es el proceso de mayor importancia en la regulación de las respuestas del cultivo a la densidad.

Los RR de los maíces tempranos en intercultivo vs. el cultivo puro siempre resultaron superiores ($\approx 98\%$) a la proporción de este cultivo dentro del intercultivo. Esto puso de manifiesto que en el intercultivo temprano la competencia entre las plantas desde el inicio del cultivo hasta avanzado el período crítico fue menor. Esto, permitió una compensación por parte de las plantas en el número de granos en comparación al cultivo puro temprano. La capacidad de compensación a través del NG está dada por el número de granos potencial de la

Cuadro 3. Rendimiento relativo del intercultivo temprano (RRtemp), tardío (RRtard), total, número de granos relativo del intercultivo temprano (NGRtemp), tardío (NGRtard) y peso de los 1000 granos relativo del intercultivo temprano (P1000Rtemp) y tardío (P1000Rtard).

Establecimiento	Tratamiento	RRtemp	RRtard	RR total	NGRtemp	NGRtard	P000Rtemp	P1000Rtard						
Las Balas	33% tempr. - 67% tardío	0,46	A	0,52	A	0,95	0,38	A	0,63	A	1,22	B	0,86	A
	50% tempr. - 50% tardío	0,69	B	0,32	A	1,01	0,63	B	0,36	A	1,08	A	0,89	A
	DMS*	0,03		0,14			0,06		0,44		0,04		0,06	
La Joaquina	33% tempr. - 67% tardío	0,93	A	0,48	A	1,41	0,77	A	0,33	A	1,19	A	0,7	A
	50% tempr. - 50% tardío	1,17	A	0,38	B	1,58	0,54	A	0,26	B	1,07	A	0,71	A
	DMS	0,22		0,02			0,27		0,06		0,3		0,15	

*LSD Fisher, letras diferentes indican diferencias entre tratamientos dentro de cada establecimiento, $P < 0,10$.

espiga y por la capacidad de fijar una segunda espiga (prolificidad) cuando las plantas se encuentran creciendo a elevada tasa de crecimiento (Vega *et al.*, 2000). En el caso de La Joaquina, el hecho de reducir la densidad del temprano a sólo el 33% respecto al cultivo puro fue una estrategia capaz de mitigar el efecto del estrés hídrico en conjunto con el estrés térmico coincidente con el período crítico. En el establecimiento de Las Balas, la compensación en el NG fue baja cuando la proporción se redujo al 33% o al 50%. Esto indicaría que las plantas en el cultivo puro en este sitio se encontraron muy cercanas a su máxima capacidad de fijación de granos (Vega *et al.*, 2000). La utilización de genotipos con mayor prolificidad (Ross *et al.*, 2020) podría haber resultado en mayores niveles de compensación en el NG.

En cuanto al PG, en el maíz temprano en intercultivo, en ambas combinaciones y en ambos establecimientos, se registró un leve aumento cuando se redujo la competencia entre plantas (entre un 7% y 22%). Estos valores concuerdan con aquellos observados por Borrás *et al.* (2004) cuando aumentó la cantidad de fuente por grano. Así, en el presente trabajo, las plantas en el cultivo puro temprano debieron haber experimentado cierta limitación por fuente durante el llenado de los granos, la cual se atenuó al disminuir la densidad logrando cierta compensación (entre un 20-22%) sólo cuando se redujo en un 67%.

Contrariamente a lo observado en el maíz temprano, el RR del tardío resultó menor (16%) a la proporción de este cultivo dentro del intercultivo, sin poder compensar la reducción de la densidad respecto al cultivo puro. Así, el cultivo tardío en intercultivo resultó doblemente afectado, tanto en el NG como en el PG. En alta competencia con el intercultivo temprano, las plantas del tardío en

intercultivo posiblemente presentaron menores tasas de crecimiento durante el período crítico resultando en una menor fijación de granos (Andrade *et al.*, 1999) y menor peso potencial de los mismos (Gambín *et al.*, 2006).

En resumen, las ventajas del intercultivo se manifestaron cuando las condiciones de crecimiento del cultivo puro temprano fueron subóptimas. De esta manera, el intercultivo temprano compensó el menor rendimiento del tardío resultando en un RR total mayor a 1 sólo en el establecimiento La Joaquina.

Productividad del intercultivo y los cultivos puros en un esquema de diversificación

Se analizaron los resultados del establecimiento La Joaquina, los cuales resultaron más contrastantes (considerando que las ventajas del intercultivo se manifiestan en condiciones subóptimas). Así, se comparó la productividad de un campo modelo de 100 ha (Cuadro 4) en estrategias de diversificación de fechas de siembra:

- 33-67% de la superficie sembrada en fecha temprana y tardía respectivamente vs. 100% de la superficie de intercultivo 33-67% de temprana-tardía.
- 50-50% de la superficie sembrada en fecha temprana y tardía respectivamente vs. 100% de la superficie de intercultivo 50-50% de temprana-tardía.
- Ambos intercultivos vs. 100% de la superficie de cultivo puro tardío.

Ambas combinaciones de intercultivo resultaron superiores a las estrategias de cultivos separados. La estrategia de 33 ha de fecha temprana y 67 ha de fecha

Cuadro 4. Ejemplo de estrategias de diversificación en el establecimiento La Joaquina.

La Joaquina	Superficie (ha)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Productividad (t)	Productividad total ^a (t)	Productividad intercultivo (t)	Diferencia ^b (t)
Temprano	33	4370	144			
Tardío	67	9549	639	784	843	59
Temprano	50	4370	218			
Tardío	50	9549	477	696	844	148
Tardío	100	9549	955			-111
						-110

^a Productividad total: toneladas totales de la estrategia de cultivos separados (temprano+tardío).

^b Diferencia: diferencia en toneladas entre Productividad total de cultivos separados y Productividad de intercultivo.

tardía obtuvo una productividad total de 784 t (Cuadro 4), mientras que la productividad del intercultivo 33-67% fue de 843 t (e.g. 59 t de diferencia). En el caso de la estrategia de 50 ha de fecha temprana y 50 ha de fecha tardía, su productividad total fue de 696 t, mientras que 100 ha de intercultivo 50-50% obtuvo 844 t (e.g. una diferencia de 148 t). La productividad total de la estrategia de 100 ha de fecha tardía fue superior (955 t) a las estrategias de 100 ha de ambas combinaciones de intercultivo (una diferencia promedio de 110 t).

En este análisis de estrategias de diversificación en las condiciones particulares de La Joaquina, el esquema de intercultivo resultó superior en productividad al esquema de cultivos separados (fechas de siembra en diferentes lotes). Sin embargo, la opción de la totalidad de la superficie en fecha tardía resultó en una mayor productividad respecto a ambos intercultivos. En la situación en que el intercultivo obtenga un rendimiento un 13% mayor al actual puede igualar a la productividad del maíz tardío en condiciones similares a las exploradas en el experimento. Este mayor rendimiento debería provenir principalmente de una mayor compensación del cultivo temprano y una menor pérdida del tardío. Esto es factible de lograr ajustando estrategias de manejo, como la elección de genotipos prolíficos en la fecha temprana (Ross *et al.*, 2020) y tolerantes al estrés (Pagano y Maddonni, 2007) en la fecha tardía del intercultivo.

Por otra parte, el ajuste de la densidad en esta estrategia es destacadamente importante, la cual será diferente según la proporción de cada una de las fechas dentro del intercultivo, los genotipos utilizados y el ambiente en el cual se encuentran (disponibilidad de recursos).

CONCLUSIONES

El presente trabajo es precursor en el estudio de la estrategia de intercultivo de maíz temprano-tardío, aunque los resultados se consideran preliminares puesto que corresponden a una sola campaña. El cultivo tardío resultó superior al intercultivo y este al temprano sólo en el ambiente donde existió una severa restricción hídrica y altas temperaturas durante el período crítico de la fecha temprana. Esta ventaja del intercultivo frente al cultivo puro temprano en las condiciones particulares del establecimiento La Joaquina evidencia la tendencia positiva de este esquema en el análisis de estrategias de diversificación. Tomando en consideración los beneficios que estos sistemas traen aparejados para el agroecosistema, constituye un desafío para los agrónomos hallar la combinación de proporción de cada componente, la densidad y el genotipo que maximice el resultado final. Además, resulta imperioso hallar la forma de adaptarlos a los sistemas mecanizados y de grandes extensiones que predominan en las áreas templadas de cultivo y en la Argentina.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, F. H., Vega, C., Uhart, S., Cirilo, A., Valentinuz, O. y Cantarero, M. (1999). Kernel number determination in maize. *Crop Sci.* 39, 453-459.
- Barnabás, B., Jäger, K. y Fehér, A. (2008). The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant, Cell & Environment*, 31(1), 11-38.
- Barros, V. A. (2008). Adaptation to climatic trends: lessons from the argentine experience. En: Leary, N., Burton, I., Adejuwon, J., Barros, V., Lasco, R. y Kulkarni, J. (Eds.). *Climate change and adaptation*. (pp. 296-350). Earthscan, Londres.
- Bert, F. y Satorre, E. (2012). Sistemas de producción de maíz: maíz temprano y tardío. *Revista técnica de la Asociación Argentina de productores en siembra directa: Maíz en SD sep.* 2012: 19-23.
- Borrás, L., Slafer, G. A. y Otegui, M. E. (2004). Seed dry weight response to source-sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. *Field Crops Res.*, 86, 131-146.
- Cárcova, J., Borrás, L. y Otegui, M. E. (2003). Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en maíz. En: *Producción de granos: bases funcionales para su manejo*. 4a ed. Buenos Aires, Argentina: Editorial Facultad de Agronomía. 146-153 pp.
- Cicchino, M., Edreira, J. I. R., Uribelarrea, M. y Otegui, M. E. (2010). Heat Stress in Field Grown Maize: Response of Physiological Determinants of Grain Yield. *Crop Science*, 50, 1438-1448.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., González, L., Cuadro, M. y Robledo, C. W. (2017). InfoStat versión. Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Recuperado de: <http://www.infostat.com.ar>.
- Florio, E. L., Mercau, J. L., Jobbágy, E. G. y Nasetto, M. D. (2014). Interactive effects of watertable depth, rainfall variation, and sowing date on maize production in the Western Pampas. *Agric. Water Manag.*, 146, 75-83.
- Fukai, S. y Trenbath, B. R. (1993). Processes determining intercrop productivity and yields of component crop. *Field Crops Research*, 34, 247-271.
- Gambín, B. L., Borrás, L. y Otegui, M. E. (2006). Source-sink relations and kernel weight differences in maize temperate hybrids. *Field Crops Res.*, 95, 316-326.
- Hall, A. J. (1984). Tolerancia a estrés hídrico en maíz: bases fisiológicas y morfológicas. En: AIANBA (Ed.), *Actas del III Congreso Nacional de Maíz*, pp. 11-23.
- Maddonni, G. A. (2012). Analysis of the climatic constraints to maize production in the current agricultural region of Argentina, a probabilistic approach. *Theoretical and Applied Climatology*, 107, 325-345.

- Mayer, L. I., Rattalino, J. I., Navarrete Sánchez, R. A., Maddonni, G. A. y Otegui, M. E. (2012). Efecto de las altas temperaturas en la productividad de maíz. *Revista técnica de la Asociación Argentina de productores en siembra directa: Maíz en SD sep.*, 2012: 12-18.
- Mayer, L. I., Rattalino Edreira, J. I. y Maddonni, G. A. (2014). Oil yield components of maize crops exposed to heat stress during early and late grain-filling stages. *Crop Science*, 54, 1-15.
- Mayer, L. I., Savín, R. y Maddonni, G. A. (2016). Heat Stress during Grain Filling Modified Kernel Protein Composition in Field-Grown Maize. *Crop Science*, 56, 1-14.
- Otegui, M. E., Nicolini, M. G., Ruiz, R. A. y Dodds, P. A. (1995). Sowing date effects on grain yield components for different maize genotypes. *Agron J.*, 87, 29-33.
- Pagano, E. y Maddonni, G. A. (2007). Intra-specific competition in maize: early established hierarchies differ in plant growth and biomass partitioning to the ear around silking. *Field Crops Res.*, 101, 306-320.
- Presello, D. A., Lorea, R. D. y Eyhérbide, G. (2016). Rendimiento de cultivares de maíz en ensayos de siembra temprana y tardía. INTA, 2016 [citado 20 de junio 2018]. Recuperado de: https://inta.gov.ar/sites/default/files/inta_pergamino_rendimiento_de_cultivares_de_maiz_en_ensayos_de_siembras_temprana_y_tardia.pdf.
- Putnam, D. H. y Allan, D. L. (1992). Mechanisms for overyielding in a sunflower/mustard intercrop. *Agron. J.*, 84 (2), 188-195.
- Rao, M. R. y Willey, R. W. (1980). Evaluation of yield stability in intercropping: studies on sorghum/pigeonpea. *Experimental Agriculture*, 16, 105-116.
- Rattalino Edreira, J. I., Budakli Carpici, E., Sammarro, D. y Otegui, M. E. (2011). Heat stress effects around flowering on kernel set of temperate and tropical maize hybrids. *Field Crops Research*, 123, 62-73.
- Rotili, D. H., Giorno, A., Tognetti, P. M. y Maddonni, G. A. (2019). Expansion of maize production in a semi-arid region of Argentina: Climatic and edaphic constraints and their implications on crop management. *Agricultural Water Management*, 226, 105761.
- Ross, F., Di Matteo, J. y Cerrudo, A. (2020). Maize prolificacy: A source of reproductive plasticity that contributes to yield stability when plant population varies in drought-prone environments. *Field Crops Res.*, 247, 107699.
- Sackmann, M. (2010). Maíz tardío y de segunda. Boletín técnico Dekalb, vol. 14. [citado 09 septiembre 2015]. Recuperado de: http://www.agroterra.com.uy/archivos/novedad_35_24_Boletin%20Maiz%20Tardio%20y%20de%20Segunda.pdf.
- Samui, R. C., Roy, A. y Bhattacharyya, P. (1984). Effect of intercropping on growth parameters of groundnut and sunflower. *J. Agron. Crop Sci.*, 153, 161-166.
- Sarandón, S. J. y Chamorro, A. M. (2003). Intercultivos en los sistemas de producción de granos. En: *Producción de granos: bases funcionales para su manejo*. 4a ed. (pp. 353-360). Buenos Aires, Argentina: Editorial Facultad de Agronomía.
- Vega, C. R. C., Sadras, V. O., Andrade, F. H. y Uhart, S. A. (2000). Reproductive allometry in Soybean, Maize and Sunflower. *Ann. Bot.*, 85, 461-468.
- Williams, W. P., Sagers, J. B., Hanten, J. A., Davis, F. M. y Buckley, P. M. (1997). Transgenic corn evaluated for resistance to fall armyworm and Southwestern corn borer. *Crop Sci*, 37, 957-962.