

¿CUÁNTO SE MODIFICA EL PESO DE GRANO ANTE CAMBIOS EN LA RELACIÓN FUENTE-DESTINO EN FECHA DE SIEMBRA TEMPRANA Y TARDÍA?

Michelin C.I.^{1,2}; Novelli L.E.^{1,2,3}; Senkman V.⁴; Melchiori R.J.M.³

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Entre Ríos, Ruta 11, Km. 10.5 (3101), Oro Verde, Entre Ríos, Argentina. cintia.michelin@uner.edu.ar; leonardo.novelli@uner.edu.ar

²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

³Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria Paraná, Ruta 11, Km. 12.5 (3101), Oro Verde, Entre Ríos, Argentina. melchiori.ricardo@inta.gob.ar

⁴Agro Bayer SRL. victor.senkman@bayer.com

HOW MUCH DOES KERNEL WEIGHT MODIFY WITH CHANGES IN THE SOURCE-SINK RATIO AT EARLY AND LATE SOWING DATES?

Abstract

The kernel weight in maize is an important contributor to yield, and its final value is determined by the source-sink ratio during the effective grain filling. Variations in the source-sink relationship during kernel filling period (increases or decreases in resource supply) could impact on the final kernel weight, with different responses depending on the planting date of the crop, due to the environmental conditions under which grain filling occurs. The objective of the study was to quantify the changes in the final kernel weight in four maize hybrids under two treatments (source increase by plant thinning, and source decrease by defoliation). The treatments were applied after potential kernel weight was defined on two contrasting sowing dates. The thinning of plants increased the kernel weight by an average of 8 %, while defoliation reduced it by 9 %, both effects being more relevant in the late sowing date. Stem carbon remobilization was not sufficient to compensate for the source reduction caused by defoliation. Genotypic differences were observed in the ability to take advantage of increases in source availability by increasing kernel weight. Maintaining healthy leaf area during grain filling period is crucial for sustaining grain yield, especially in late sowing date.

Palabras claves: peso de grano, maíz, relación fuente-destino, área foliar,

Keywords: kernel weight, maize, source-sink ratio, leaf area

Introducción

El rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) resulta de la combinación de dos componentes que se definen en distintos momentos: el número de granos por unidad de superficie y el peso individual de cada grano. El número de granos queda establecido en un período crítico alrededor de la floración, es altamente sensible a la disponibilidad de recursos en ese momento (Andrade *et al.*, 1999) y explica gran parte de la variabilidad de rendimiento entre ambientes (Amas *et al.*, 2024; Early *et al.*, 1967; Fischer, 1975). El peso de grano se define durante el llenado de los granos y en híbridos actuales es un contribuyente importante al rendimiento (Borrás y Gambín, 2010). Además, existiría aún una brecha para incrementarlo, debido a que la mayoría de los programas de

mejoramientos estuvieron orientados a mejorar el número de granos (Fernández *et al.*, 2022).

El peso final del grano depende de la relación entre la oferta de asimilados (fuente) y la demanda dada por el número de granos ya fijados (destinos) (Andrade y Ferreiro, 1996; Borrás *et al.*, 2004). Para el estudio de la determinación del número y peso de los granos, se han utilizado manipulaciones de la relación fuente-destino a través de defoliaciones y raleos (Echarte *et al.*, 2006). La defoliación parcial post-floración reduce directamente la superficie fotosintética activa, restringiendo la fuente sin modificar el número de destinos definidos. El raleo de plantas post-floración, en cambio, de manera indirecta incrementa la disponibilidad de recursos (radiación, agua, nutrientes) al reducir el número de plantas y destinos por unidad de superficie. De esta manera, se mejora la relación fuente-destino a escala de planta, aunque el número total de granos por metro cuadrado se reduzca. Ambas prácticas, aplicadas una vez establecido el peso potencial del grano ($200-250\text{ }^{\circ}\text{C d}^{-1}$ después de la floración, Cerrudo *et al.*, 2013; Maddonni *et al.*, 1998) y en condiciones de producción inestables, como las que ocurren en ambientes marginales para la producción de maíz, permiten explorar los dos posibles cambios en la fuente (restricción y aumento de recursos). Además, permiten evaluar la capacidad del cultivo para generar ajustes de rendimiento mediante cambios en el peso final del grano compensando variaciones del ambiente.

La magnitud de esta compensación del peso de granos, sin embargo, estaría condicionada por el ambiente en el que transcurre el llenado de los granos. La fecha de siembra es uno de los principales determinantes de dicho ambiente. En este sentido siembras tardías suelen exponer al cultivo a temperaturas decrecientes y menor radiación durante el llenado de granos (Bonelli *et al.*, 2016). Estas condiciones podrían limitar la capacidad de la planta para sostener el área foliar activa o para movilizar reservas del tallo hacia el grano (Caviglia *et al.*, 2014), con una consecuente reducción de la fuente. Comprender la interacción entre fecha de siembra y modificaciones de la fuente, y su impacto en el peso de los granos, resulta relevante para orientar las decisiones de manejo que alteran la relación fuente-destino. Además, los estreses abióticos (variabilidad climática) o bióticos (enfermedades, insectos) que afectan el área foliar pueden tener consecuencias distintas sobre el peso final del grano según la fecha siembra y la respuesta específica del peso de grano propio de cada híbrido. Por lo tanto, el objetivo del trabajo fue cuantificar los cambios en el peso final de los granos en función de variaciones de la relación fuente-destino, durante el llenado efectivo de granos, en cuatro híbridos y dos fechas de siembra contrastantes.

Materiales y métodos

En el ciclo agrícola 2025/26 se llevaron a cabo dos experimentos en la Estación Experimental INTA Paraná ($31^{\circ} 49' \text{ S}$; $60^{\circ} 31' \text{ O}$). El primer experimento fue sembrado el 28 de agosto, en adelante fecha de siembra temprana (FS₁), y el segundo fue sembrado el 18 de diciembre, en adelante fecha de siembra tardía (FS₂). Se evaluaron cuatro híbridos comerciales actuales: DK7272 (Bayer), NS7624 (Nidera), NK842 (Syngenta) y Next 22.6 (Brevant). La siembra se ajustó a 7 pl m^{-2} y se fertilizó con 150 kg N ha^{-1} (urea en dos aplicaciones en cobertura, 50% a la siembra y 50% en V10, Ritchie y Hanway, 1982). Se utilizó un diseño en bloques completos al azar (DBCA) con parcelas divididas y tres repeticiones. Los híbridos se asignaron a la parcela principal, mientras que las

manipulaciones de la relación fuente-destino (raleo y defoliación) y stand de plantas normal (como control) a las subparcelas.

Los tratamientos se aplicaron a partir de los 20 días post-floración ($> 200\text{ }^{\circ}\text{C d}^{-1}$ post R1) para garantizar que el peso potencial del grano ya estuviera determinado. Los mismos consistieron en i) reducción del 50 % del área foliar, mediante el corte transversal por su mitad en todas las hojas verdes, en adelante “defoliación”; ii) reducción del 50 % de la densidad de plantas, mediante la eliminación alternada de plantas dentro de cada hilera, en adelante “raleo”; y iii) un tratamiento control, sin intervención sobre las plantas presentes.

Se determinó la biomasa aérea total en el momento en que se aplicaron los tratamientos y en R6, mediante el corte de 5 plantas por sub-parcela. Se separaron los tallos del resto de órganos y se secaron en estufa con aire forzado a 60° durante 96 horas, para luego obtener su peso seco. A partir de estos datos se calculó la removilización como la diferencia de peso del tallo entre R6 y el momento de aplicación de los tratamientos. En R6 se cosecharon las espigas de 2 hileras x 4 m lineales de cada sub-parcela. A partir de estos datos se obtuvo el rendimiento (kg ha^{-1} , expresado a 14.5% de humedad), el número de granos por unidad de superficie (granos m^{-2}) y el peso de mil granos (P1000, g, expresado a 0% de humedad).

Los datos de rendimiento, número de granos y P1000 se analizaron mediante un modelo lineal mixto, con híbrido, tratamiento y fecha de siembra como efectos fijos, y bloque como efecto aleatorio. Los análisis se realizaron en InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2011) y los gráficos en GraphPad Prism (Warton *et al.*, 2012).

Resultados

Los experimentos se diferenciaron marcadamente en cuanto a sus condiciones ambientales, debido a las fechas de siembra contrastantes (Fig. 1). En ambas FS las precipitaciones fueron regulares, sin embargo, en la FS₁ el acumulado fue de 455 mm, mientras que la FS₂ acumuló un total de 755 mm en todo su ciclo. La temperatura media en la FS₁ fue de $21.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y en la FS₂ fue de $23.8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las temperaturas máximas en la FS₁ en solo dos días superaron los $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ (umbral de estrés térmico, Rattalino Edreira *et al.*, 2011), hacia el final del llenado de granos, mientras que en la FS₂ este nivel de temperatura fue superado en seis días en los estadios vegetativos. La radiación en FS₁ fue en aumento durante el ciclo del cultivo, con los mayores valores en la etapa entre la aplicación de los tratamientos y R6. Por el contrario, en la FS₂, la radiación fue disminuyendo durante el ciclo, con los menores valores en post-aplicación de los tratamientos.

La fecha de siembra, como efecto principal, no modificó ninguna de las tres variables evaluadas ($p > 0.05$, Tabla 1). Los híbridos y los tratamientos de modificación de la relación fuente-destino, generaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en el rendimiento, número y peso de los granos. Los híbridos DK7272 y Next 22.6 se destacaron por mayor rendimiento (8950 y 8844 kg ha^{-1}) asociado a un mayor número de granos (2598 y $2618\text{ granos m}^{-2}$).



50 AÑOS
PENSANDO
EL FUTURO

XIII
CONGRESO
NACIONAL
DE MAÍZ

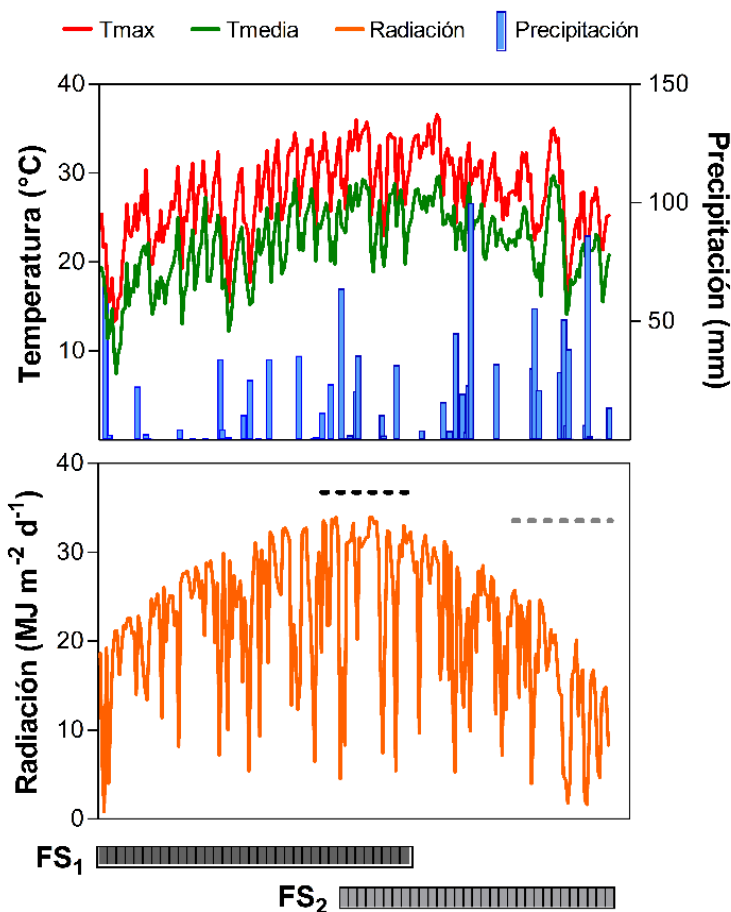


Figura 1. Temperatura media (línea verde) y máxima (línea roja) del aire y precipitaciones (barras azules) en el panel superior y radiación (línea naranja) en el panel inferior. Debajo se indica la duración del ciclo del cultivo para cada fecha de siembra. Las líneas discontinuas en el panel inferior (línea negra: FS₁ y línea gris: FS₂) indican la duración del llenado de granos desde la aplicación de los tratamientos a R6.

El raleo redujo drásticamente el número de granos por unidad de superficie (-46%) y causó un aumento del P1000 (8 %), respecto al control (Tabla 1). Sin embargo, este incremento en el P1000 no compensó la fuerte caída del número de granos, resultando en una disminución del rendimiento de 4313 kg ha⁻¹, es decir, un -42%. El tratamiento de defoliación no modificó el número de granos por unidad de superficie respecto al control (2852 vs. 2969 granos m⁻², respectivamente), lo cual era esperable, debido a que la intervención se realizó luego de definido este componente. Sin embargo, este tratamiento redujo significativamente el P1000 (-9 %), lo que se tradujo en una caída del rendimiento (1344 kg ha⁻¹ menos respecto al control, es decir, un -13%) explicada casi exclusivamente por la pérdida de peso del grano.

En la interacción fecha de siembra × híbrido ($p = 0.0058$) para P1000, los híbridos DK7272, NS7624 y NK842 no se diferenciaron estadísticamente entre fechas (Fig. 2A). Sin embargo, los valores medios de P1000 fueron superiores en FS₂ para DK7272 y NS7624 mientras que NK842 se comportó como el más estable entre fechas, pero con los menores P1000. El híbrido Next 22.6, en cambio, fue el único que mostró una caída significativa de P1000 en FS₂. Este híbrido, sin embargo, exhibió la mayor plasticidad en este componente, ya que fue el que más incrementó el P1000 cuando se aumentó la fuente mediante el raleo de plantas (+9 % y +20 % en FS₁ y FS₂, respectivamente, datos

no mostrados) y, al mismo tiempo, mostró la menor reducción cuando se lo sometió a defoliación en FS₁ (-2 %, datos no mostrados). Sin embargo, se comportó similar a lo demás híbridos en FS₂ (-16 %, datos no mostrados). Estos resultados sugieren una mayor capacidad de este híbrido para aprovechar un aumento en la disponibilidad de recursos durante el llenado de granos.

Tabla 1. Valores medios de rendimiento, número de granos y peso de mil granos, para cuatro híbridos de maíz (DK7272, NS7624, NK842, Next 22.6) sometidos a dos tratamientos (raleo y defoliación) y un control. Letras diferentes indican diferencias significativas (LSD, $p < 0.05$) dentro de cada fuente de variación.

	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Número de granos (granos m ⁻²)	Peso de 1000 granos (g)
Fecha de siembra (FS)			
FS ₁	8618	2498	298
FS ₂	8263	2443	299
<i>p</i> -valor	ns	ns	ns
Híbrido (H)			
DK7272	8950 a	2598 a	299 b
NS7624	8046 b	2195 b	320 a
NK842	7922 b	2473 a	279 c
Next 22.6	8844 a	2618 a	295 b
<i>p</i> -valor	0.0098	0.0023	<0.0001
Tratamiento (T)			
Control	10326 a	2969 a	299 b
Raleo	6013 c	1591 b	324 a
Defoliación	8982 b	2852 a	272 c
<i>p</i> -valor	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Interacción	<i>p</i> -valor		
FS*H	ns	ns	0.0058
FS*T	ns	ns	0.0056
H*T	ns	ns	ns
FS*H*T	ns	ns	ns

Al evaluar la interacción fecha de siembra × tratamiento ($p = 0.0056$), el control mantuvo sin cambios el P1000 entre fechas (Fig. 2B). Es decir, cuando no hubo intervención adicional a la del ambiente durante el llenado de los granos, no se modificó el P1000 entre fechas de siembra. En cambio, tanto el raleo como la defoliación, que alteran la relación fuente-destino, generaron efectos diferentes entre fechas. El raleo incrementó el P1000 en la FS₂, mientras la defoliación lo disminuyó. En la comparación de cada tratamiento respecto al control (Fig. 2B), en la FS₁ el raleo incrementó el P1000 un 5 %, mientras que la defoliación lo redujo un 5 %. En la FS₂, el efecto de ambos tratamientos fue levemente mayor, ya que el raleo incrementó el P1000 un 11 % y la defoliación lo disminuyó un 13 %.

Al relacionar la variación en el P1000 con la variación en la removilización desde el tallo (Fig. 2C), ambas relativizadas con respecto a los valores obtenidos en el control, encontramos que valores principalmente positivos en la variación de la removilización del tallo (-5 a 74 %) en el raleo se correspondieron con incrementos de hasta 40 % del P1000 respecto al control. En la defoliación, en cambio, variaciones principalmente negativas de la removilización del tallo (-31 a 26 %) estuvieron asociadas a P1000 menores a los obtenidos en el control (hasta -25 %).



50 AÑOS
PENSANDO
EL FUTURO

XIII
CONGRESO
NACIONAL
DE MAÍZ

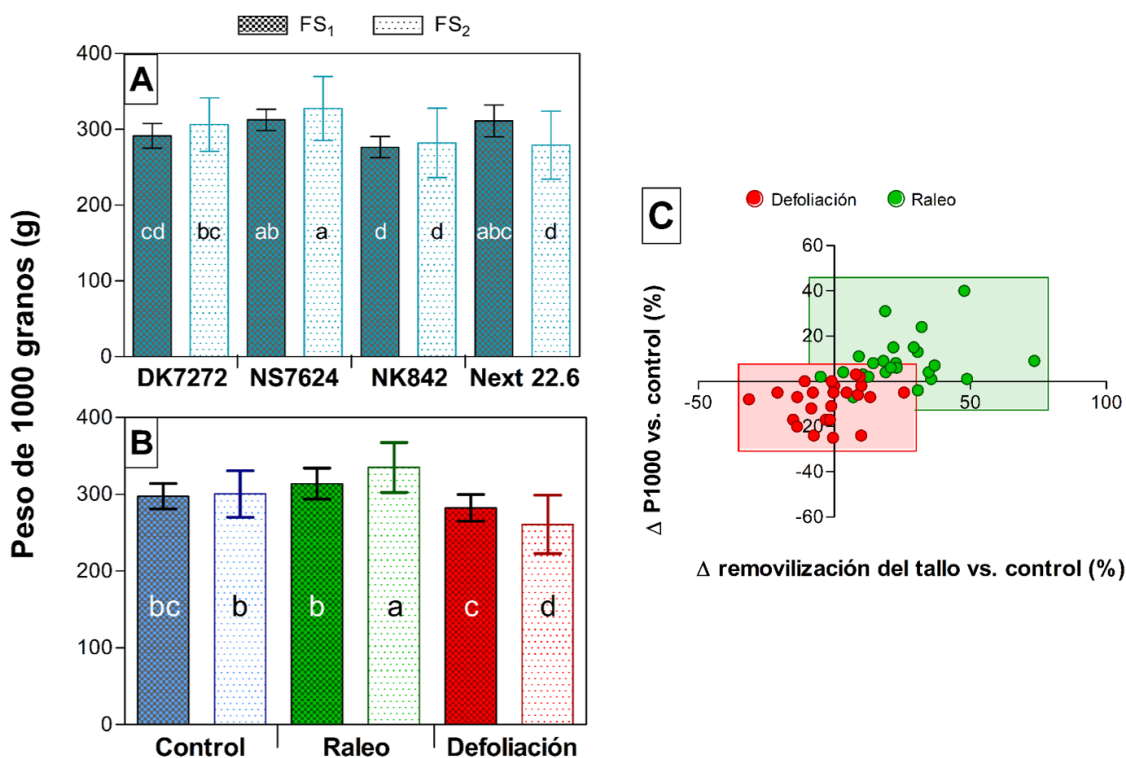


Figura 2. A: Peso de 1000 granos (g) de la fecha de siembra temprana (FS₁: trama oscura) y siembra tardía (FS₂: trama clara) de los cuatro híbridos evaluados. B: Peso de 1000 granos (g) del control (azul) y los tratamientos de raleo (verde) y defoliación (rojo) en la fecha de siembra temprana (FS₁: trama oscura) y tardía (FS₂: trama clara). En ambas figuras los bigotes representan el desvío estándar y letras diferentes, indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). C: Variación del peso de 1000 granos respecto al control (%) en función de la variación de la removilización del tallo respecto al control (%) para los tratamientos de defoliación (rojo) y raleo (verde).

Discusión

El mejoramiento genético del cultivo de maíz en híbridos modernos ha estado fundamentalmente asociado incrementos en la capacidad de fijar granos (Amas *et al.*, 2024; Fernández *et al.*, 2022), donde el peso de granos ha sido menos abordado, por lo cual resulta de interés evaluar su capacidad de compensación ante cambios del ambiente, principalmente en aquellos climáticamente inestables. En estos ambientes, una práctica conservadora muy común es el uso de bajas densidades de plantas (Ross *et al.*, 2020; Rotili *et al.*, 2019) y la utilización de híbridos prolíficos o macolladores (Massigoge *et al.*, 2022; Rotili *et al.*, 2021; Veenstra *et al.*, 2021). Estos híbridos son capaces de aprovechar aumentos en la oferta de recursos durante determinados momentos del ciclo del cultivo, incrementando el número de granos por unidad de superficie y con ello el rendimiento (Ciancio *et al.*, 2016; Massigoge *et al.*, 2022; Ross *et al.*, 2020; Veenstra *et al.*, 2021).

Sin embargo, una vez definido el número de granos y su peso potencial, el peso final continúa respondiendo a la disponibilidad de recursos durante el llenado efectivo (Borrás *et al.*, 2004). En consecuencia, mejoras en el ambiente o en el manejo ocurridas con posterioridad a la fijación del número de granos, pueden traducirse, al menos parcialmente, en un mayor peso final. Esta capacidad de respuesta adquiere particular relevancia en ambientes climáticamente inestables, donde las condiciones durante el llenado pueden diferir de las registradas en floración y permitir una recuperación parcial

del rendimiento a través de incrementos en el peso de los granos. Sin embargo, es importante considerar que el peso de grano solo compensará una fracción pequeña de la caída de rendimiento si el destino se redujo fuertemente (Borrás *et al.*, 2004).

La reducida capacidad del tallo de removilizar asimilados para mantener el peso final ante reducciones severas y sostenidas de fuente (Borrás *et al.*, 2004) refuerza la importancia de proteger el área foliar en ese período. En este sentido, la utilización de híbridos con buen perfil sanitario o el uso de fungicidas (Madias *et al.*, 2023), podrían disminuir las pérdidas potenciales de peso de granos. Esto cobra mayor relevancia en fechas de siembra tardías, debido a la marcada reducción de la radiación durante el llenado de granos (Amas *et al.*, 2022), donde el cultivo queda más expuesto a que pérdidas de área foliar tengan mayor impacto sobre el peso de los granos.

Las diferencias genotípicas en la capacidad de compensar variaciones de la relación fuente-destino (Fernández *et al.*, 2022), también tienen implicancia práctica al momento de elegir híbridos para ambientes o fechas de siembra donde se anticipe mayor riesgo de pérdida de área foliar durante el llenado.

Los resultados de este trabajo sugieren que las decisiones agronómicas orientadas a maximizar la fijación del número de granos (manejo de la fecha de siembra, densidad, nutrición y control del estrés hídrico o térmico en floración) continúan siendo las de mayor impacto sobre el rendimiento final (Amas *et al.*, 2024). Sin embargo, la fecha de siembra no solo define el ambiente en que se fija el número de granos, sino que también condiciona, el margen disponible para compensar posteriormente el peso de los granos ante cambios en la relación fuente-destino. En siembras tardías, el cuidado del área foliar sana durante el llenado y la elección de híbridos con mayor capacidad de compensación adquieren una relevancia adicional, ya que de ellos depende buena parte del ajuste final sobre el rendimiento.

Conclusiones

El peso final de los granos respondió a cambios en la relación fuente-destino durante el llenado, aumentando con el raleo y disminuyendo con la defoliación, aunque dentro de un rango acotado (+8 % y -9 % en promedio). Este ajuste permitió aprovechar los recursos ante una mejora en la fuente, mientras que la removilización del tallo fue insuficiente para sostener la caída de esta. Por lo tanto, en escenarios de buena fijación de número de granos, proteger el área foliar sana durante el llenado resulta clave para sostener el peso de grano, especialmente en siembras tardías con condiciones fototérmicas desfavorables.

Referencias bibliográficas

- Amas J. I.; Fernandez J. A.; Curin F.; Cirilo A. G.; Ciampitti I. A.; Otegui M. E. 2022. Maize genetic progress in the central Pampas of Argentina: effects of contrasting sowing dates. *Field Crops Research*, 281, 108492.
- Amas J. I.; Curin F.; D'andrea K. E.; Luque S. F.; Otegui M. E. 2024. Maize breeding effects on grain yield genetic progress and its contribution to global yield gain in Argentina. *Field Crops Research*, 316, 109520.
- Andrade F. H.; Ferreiro M. A. 1996. Reproductive growth of maize, sunflower and soybean at different source levels during grain filling. *Field Crops Research*, 48(2-3), 155-165.
- Andrade F.H.; Vega C.; Uhart S.; Cirilo A.; Cantarero M.; Valentinuz O. 1999. Kernel number determination in maize. *Crop Science*, 39: 453-459.



50 AÑOS
PENSANDO
EL FUTURO

XIII
CONGRESO
NACIONAL
DE MAÍZ

- Bonelli L. E.; Monzon J. P.; Cerrudo A.; Rizzalli R. H.; Andrade F. H. 2016. Maize grain yield components and source-sink relationship as affected by the delay in sowing date. *Field Crops Research*, 198, 215-225.
- Borrás L.; Slafer G. A.; Otegui M. E. 2004. Seed dry weight response to source-sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. *Field Crops Research*, 86(2-3), 131-146.
- Borrás L.; Gambín B. L. 2010. Trait dissection of maize kernel weight: Towards integrating hierarchical scales using a plant growth approach. *Field Crops Research*, 118(1), 1-12.
- Caviglia O. P.; Melchiori R. J. M.; Sadras V. O. 2014. Nitrogen utilization efficiency in maize as affected by hybrid and N rate in late-sown crops. *Field Crops Research*, 168, 27-37.
- Cerrudo A.; Di Matteo J.; Fernandez E.; Robles M.; Pico L. O.; Andrade F. H. 2013. Yield components of maize as affected by short shading periods and thinning. *Crop & Pasture Science*, 64(6), 580-587.
- Ciancio N.; Parco M.; Incognito S. J. P.; Maddonni G. A. 2016. Kernel setting at the apical and sub-apical ear of older and newer Argentinean maize hybrids. *Field Crops Research*, 191, 101-110.
- Di Rienzo J.A.; Casanoves F.; Balzarini M.G.; Gonzalez L.; Tablada M.; Robledo C.W. 2011. Infostat version 2011. Centro de Transferencia Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>.
- Early E. B.; McIlrath W. O.; Seif R. D.; Hageman R. H. 1967. Effects of shade applied at different stages of plant development on corn (*Zea mays* L.) production 1. *Crop Science*, 7(2), 151-156.
- Echarte L.; Andrade F. H.; Sadras V. O.; Abbate P. 2006. Kernel weight and its response to source manipulations during grain filling in Argentinean maize hybrids released in different decades. *Field Crops Research*, 96(2-3), 307-312.
- Fernández J. A.; Messina C. D.; Salinas A.; Prasad P. V.; Nippert J. B.; Ciampitti I. A. 2022. Kernel weight contribution to yield genetic gain of maize: A global review and US case studies. *Journal of Experimental Botany*, 73(11), 3597-3609.
- Fischer R. A. 1975. Yield potential in a dwarf spring wheat and the effect of shading 1. *Crop Science*, 15(5), 607-613.
- Maddonni G. A.; Otegui M. E.; Bonhomme R. 1998. Grain yield components in maize: II. Postsilking growth and kernel weight. *Field Crops Research*, 56(3), 257-264.
- Madias A.; Borrás L.; Gambin B. L. 2023. Foliar fungicides help maize farmers reduce yield gaps in late sown crops in a temperate region. *European Journal of Agronomy*, 145, 126768.
- Massigoge I.; Ross F.; Fernández J. A.; Echarte L.; Ciampitti I. A.; Cerrudo A. 2022. Contribution of tillers to maize yield stability at low plant density. *Crop Science*, 62(6), 2451-2461.
- Rattalino Edreira J. I.; Carpici E. B.; Sammarro D.; Otegui M. E. 2011. Heat stress effects around flowering on kernel set of temperate and tropical maize hybrids. *Field Crops Research*, 123(2), 62-73.
- Ritchie S. W.; Hanway J. J. 1982. How a corn plant develops. Spec. Rep. No. 48. Iowa State Univ. Coop. Ext. Serv., Ames.
- Ross F.; Di Matteo J.; 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 Research*, 247, 107699.
- Rotili D. H.; Giorno A.; Tognetti P. M.; Maddonni G. Á. 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.
- Rotili D. H.; Sadras V. O.; Abeledo L. G.; Ferreyra J. M.; Micheloud J. R.; Duarte G.; Girón P.; Ermácora M.; Maddonni G. A. 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.
- Veenstra R. L.; Messina C. D.; Berning D.; Haag L. A.; Carter P.; Hefley T. J.; Vara Prasad, P.V.; Ciampitti I. A. 2021. Effect of tillers on corn yield: Exploring trait plasticity potential in unpredictable environments. *Crop Science*, 61(5), 3660-3674.
- Warton D.I.; Duursma R.A.; Falster D.S.; Taskinen S. 2012. GraphPad Software Inc., San Diego CA. www.graphpad.com.