



**MAÍZIFICANDO
CONCIENCIA**
XII CONGRESO NACIONAL DE MAÍZ

Eje

Ecofisiología y manejo del cultivo

8, 9 y 10 de Noviembre
Pergamino, BA
UNNOBA



Secretaría de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Ministerio de Economía
Argentina

2022





RELACIÓN FUENTE-DESTINO Y QUEBRADO DE TALLOS EN MAÍZ TARDÍO CULTIVADO CON DISPONIBILIDAD CONTRASTANTE DE RECURSOS

Ogando F.A¹; Raspa F.A²; Vega C.R.C³.

1 INTA EEA Manfredi, RN 9 km 636, Manfredi, Córdoba, Argentina., ogando.federico@inta.gob.ar

2 INTA EEA Manfredi, RN 9 km 636, Manfredi, Córdoba, Argentina, raspa.francisco@inta.gob.ar

3 INTA EEA Manfredi, RN 9 km 636, Manfredi, Córdoba, Argentina, vega.claudia@inta.gob.ar

SOURCE SINK RELATIONSHIP AND STEM LODGING IN LATE SOWN MAIZE UNDER CONTRASTING AVAILABILITY RESOURCES

Abstract

In late-sown maize, the correct selection of genotype (G), stand density (D), and nitrogen fertilization (FN) should aim at closing yield gaps. In particular, inadequate selection of these management practices can unbalance the source-sink relationship (F/D) during grain filling and trigger stalk lodging, a syndrome that could limit yield. This study aimed to determine how the interaction $D*FN*G$ affects I) the source-sink relationship during grain filling; II) biomass remobilization and lodging. Treatments were sown in a strip-plot design with two replications and consisted of a combination of three G, two D (8 and 16 pl m⁻²), two FN (180 and 280 kg N ha⁻¹), and two levels of solar radiation (SR) during grain filling (control and 0.45*SR during a week). F/D varied between 9.5 a 363 mg grain⁻¹ and explained 73% of the variation in grain weight. The linear F/D-grain weight relationship was always over the 1:1 line indicating that yield was source limited. Lodging varied from 5% (D8) to 56% (D16). Reductions in solar radiation during grain filling promoted higher lodging (+ 21%) under the highest plant density. Lodging was associated with low values of F/D but presented no strong correlation with biomass remobilization from the basal stem. The results indicate that low source of assimilates during grain filling in late sown maize can limit yield and induce stalk lodging, especially under higher D. Aiming to close yield gaps, more studies are needed to determine a correct combination of practices that enhance source functioning during grain filling.

Palabras claves

Maíz tardío, fuente destino, prácticas de manejo, quebrado de tallos, peso de granos.

Keywords

Late sown maize, source-sink, management practices, stem lodging, kernel weight.



Introducción

Estudios recientes demuestran que la intensificación (i.e. el incremento en la densidad de plantas acompañado con adecuados niveles de fertilización nitrogenada) contribuye al cierre de brechas entre los rendimientos potenciales y los logrados por los productores en maíz tardío. Esta afirmación es válida tanto para sistemas en secano (Ogando et al., 2022) como bajo riego (Ogando et al., 2017b; Vitantonio-Mazzini et al., 2020). En latitudes medias (i.e. zona central argentina), la respuesta positiva al incremento de la densidad de plantas se explica por las buenas condiciones ambientales durante la etapa crítica (i.e. alto coeficiente foto-termal) que permiten una mayor fijación de granos por unidad de superficie (Ogando et al., 2017a). Debido a esto, y considerando que la calidad ambiental durante el llenado de granos en maíz tardío es generalmente menor (debido a la menor radiación solar incidente y por eventos de nubosidad), son esperables desbalances entre la demanda y oferta de asimilados (i.e. la relación fuente-destino, F/D) que pueden afectar la óptima duración del llenado de granos. El proceso de removilización de carbohidratos desde tejidos de reserva como los tallos y hojas puede contribuir a sostener la demanda de foto-asimilados de la espiga durante el llenado (Daynard et al., 1969). Sin embargo, cuando la removilización de carbohidratos de tallos es excesiva, pueden ocurrir síndromes como el quebrado de tallos y/o la madurez anticipada del cultivo (Eslava et al., 2008a; Casagrande and Zerpa, 2016). La potencial penalización del peso de granos y, en consecuencia, del rendimiento dependerá del grado de limitación de la fuente. En maíz temprano, se conoce que prácticas de manejo como la fertilización nitrogenada (FN; Uhart and Andrade, 1995; Hisse et al., 2019), la densidad poblacional (D, Borrás and Otegui, 2001) y el genotipo (G) influyen en la determinación de la F/D. En maíz tardío, son escasos los estudios que evaluaron el efecto de la interacción de estas prácticas de manejo sobre la F/D y procesos como la removilización y el quebrado de tallos (Eslava et al., 2008b; Coria et al., 2010).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de distinta disponibilidad de recursos por planta sobre: I) la relación F/D; II) la removilización de reservas y su relación con el quebrado de tallos en maíz tardío. La disponibilidad de recursos fue modulada mediante la FN, D, G y variaciones en el recurso lumínico durante el llenado de granos.

Materiales y Métodos

Un experimento bajo riego fue sembrado el 12/12/2017 en la EEA INTA Manfredi, Córdoba Argentina (31° 49' S, 63° 46' O). Los tratamientos consistieron en la combinación factorial de tres genotipos (DK 7210, DK 7320 y DK 7020), dos densidades poblacionales (óptima, D8 y supra-óptima, D16, correspondientes a 8 o 16 pl m⁻²), dos niveles de N disponible (NB y NA, correspondientes a 180 y 280 kg N ha⁻¹), y dos niveles de radiación solar durante el llenado de granos (NR; Control y con sombra). Los niveles de disponibilidad nitrogenada (FN) fueron logrados mediante el aporte de nitrógeno del suelo (antecesor soja; N estimado en 100 kg N ha⁻¹) más una fertilización con UAN en el estadio fenológico de V14 (Ritchie et al., 1992). El sombreado fue impuesto a partir de los 250°Cd de la floración durante siete días mediante una media sombra (reducción del 45% de la radiación solar incidente) colocada sobre el cultivo.

El diseño experimental fue de parcelas sub-sub-sub-divididas con dos repeticiones en donde la parcela principal correspondió a la fertilización nitrogenada, la sub-parcela al sombreado, la sub-sub-parcela a la densidad y la sub-sub-sub-parcela al genotipo (i.e. FN > NR > D > G). Las



unidades experimentales consistieron en ocho surcos de ocho m de largo distanciados a 0.52 m. En los cuatro surcos centrales de cada unidad experimental, se etiquetaron 20 plantas en competencia perfecta en el estadio de V6. El crecimiento de dichas plantas individuales durante el ciclo del cultivo fue evaluado mediante modelos alométricos. Los modelos alométricos fueron construidos a partir de determinaciones destructivas de biomasa de planta realizadas a lo largo del ciclo, según métodos previamente calibrados (Vega et al., 2001). En madurez fisiológica, las plantas marcadas fueron cosechadas, determinándose su biomasa, índice de cosecha y componentes de rendimiento.

La F/D durante el período de llenado de granos (R3-R6) fue estimada a nivel de planta individual como el cociente entre la diferencia de materia seca en R6 y R3 y el número de granos fijados por planta, según propuestas de antecedentes previos (Uhart and Andrade, 1995; Capristo, 2000). La removilización de reservas fue estimada como la diferencia de materia seca vegetativa (tallos más hojas) entre los estadíos fenológicos de R3 y madurez fisiológica. Adicionalmente, se determinó la materia seca de la porción basal del tallo (desde la base hasta dos nudos por debajo de la espiga) para calcular la removilización basal. El quebrado de tallos fue relevado a nivel de unidad experimental (12 m²) a los 35 días de la ocurrencia de R6, y fue expresado como porcentaje de plantas quebradas. Se consideró como planta quebrada a aquella que presentó un quiebre en el tallo por debajo del nudo de inserción de la espiga.

La caracterización climática de la campaña se realizó a partir de información relevada por una casilla meteorológica ubicada a 200 m del ensayo.

Se realizó ANOVA y comparación de medias mediante modelos lineales mixtos con el software Infostat (Di Rienzo et al., 2014). Se consideraron a FN, D, G, NR e interacciones como efectos fijos. La evaluación de la correlación entre variables y los gráficos fueron realizados con R Studio (Wickham, 2016; R Core Team, 2022).

Resultados

1. Índice de cosecha, rendimiento y sus componentes

A través de todos los tratamientos, el rendimiento varió en 233% (561 a 1312 g m⁻²) y fue afectado por FN, D y D*NR ($p < 0.05$; Tabla 1). Aumentos en la disponibilidad nitrogenada siempre incrementaron el rendimiento (+27.6%; 779 a 1076g m⁻²) debido a sus efectos sobre NG, IC y F/D (incrementos del 17, 12% y 92%, respectivamente). Asimismo, no se observaron interacciones entre la disponibilidad de N y los otros factores. La densidad supra-óptima disminuyó el rendimiento medio en 22% a través de mayores disminuciones en el PG (16 %) que en el NG (10%). Como era esperable por el momento de imposición, la reducción temporaria de radiación solar no afectó a NG pero sí al rendimiento (principalmente a través de la disminución del IC).

2. Quebrado de tallos, removilización y relación fuente destino

El quebrado de tallos, IC y F/D fueron las variables más sensibles a los tratamientos y sus interacciones (Tabla 1). El quebrado de tallos fue mayor en D16 (56 % de plantas) que en D8 (5%), y dicho efecto fue más acentuado con el sombreado (NR*D < 0.05). El quebrado solo difirió entre genotipos cuando la densidad fue supra-óptima (DK7210 presentó el menor quebrado de plantas en D16).



La removilización de la MS fue 11% menor en los tratamientos fertilizados. El aumento de la D incrementó la removilización en 15% (Tabla 1).

La relación F/D tendió a ser máxima en D8-FN280 (244 mg grano⁻¹) y mínima en D16-FN180 (29 mg grano⁻¹). DK 7020 exhibió el menor valor de F/D (24% menor que los otros G evaluados).

Tabla 1. ANOVA y comparación de medias para rendimiento (R), número de granos (NG), peso de granos (PG), índice de cosecha (IC), porcentaje de quebrado, removilización de materia seca vegetativa (Rem) y relación fuente destino durante el llenado (F/D).

Fuente de variación		R (g m ²)	NG	PG (mg)	IC (%)	Quebrado (%)	Rem (g ms pl ⁻¹)	F/D (mg grano ⁻¹)
Fertilización nitrogenada (FN)	NA	1076 a	4287 a	248	0.47 a	31	37 b	175 a
	NB	779 b	3652 b	203	0.42 b	29	42 a	91 b
Densidad (D)	D8	1042 a	4160 a	245 a	0.46 a	5 b	36 b	179 a
	D16	813 b	3778 b	207 b	0.42 b	56 a	42 a	87 b
Genotipo (G)	DK 7210	965	3868	240 a	0.44 b	11 b	38	144 a
	DK 7020	956	4102	207 b	0.43 b	44 a	39	109 b
	DK 7320	861	3938	230 a	0.46 a	37 a	40	145 a
Radiación solar (NR)	C	970	4062	236	0.45 a	25 b	40	143
	S	886	3876	214	0.44 b	36 a	39	123
FN		***	***	ns	***	ns	**	***
D		***	**	**	***	***	***	***
G		ns	ns	***	***	***	ns	*
NR		*	ns	ns	**	**	ns	Ns
NR x FN		ns	ns	ns	**	ns	ns	Ns
NR x D		**	ns	ns	ns	**	ns	Ns
NR x G		ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
D x G		ns	*	ns	ns	***	ns	Ns
FN x D x G		ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
FN x NR x D x G		ns	ns	ns	ns	*	ns	Ns

*, **, *** representan valores significativos de P valor en 0.05, 0.01 y 0.001, respectivamente y ns indica no significativo.

Relación fuente destino, peso de granos y quebrado de tallos

La removilización de la materia seca vegetativa se asoció negativamente con la F/D durante el llenado de granos (Fig. 1 A), y explicó el 73% de la variación del peso de granos (Fig. 1 B). Para el rango de F/D explorado en este estudio (9.5 a 363 mg grano⁻¹), la función que explicó la variabilidad en el PG fue lineal. El modelo lineal-plateau generalmente reportado en antecedentes previos no fue significativo en este estudio ($p > 0.05$). Todos los casos observados en este estudio se ubicaron por encima de la línea uno a uno, no existiendo diferencias en el modelo debidas a genotipos ni tratamientos.

Asimismo, la F/D explicó robustamente el quebrado de tallos (Fig. 2 A), aunque se discriminaron dos modelos distintos según la disponibilidad nitrogenada. Mayores niveles de F/D se relacionaron con menores porcentajes de quebrado. Notoriamente, para un mismo valor de F/D, se encontró tendencia a mayor quebrado en los casos de mayor disponibilidad de N. Contrariamente a lo esperado, el porcentaje de removilización de reservas desde la porción basal del tallo no explicó el quebrado de tallos (Fig. 2 B).

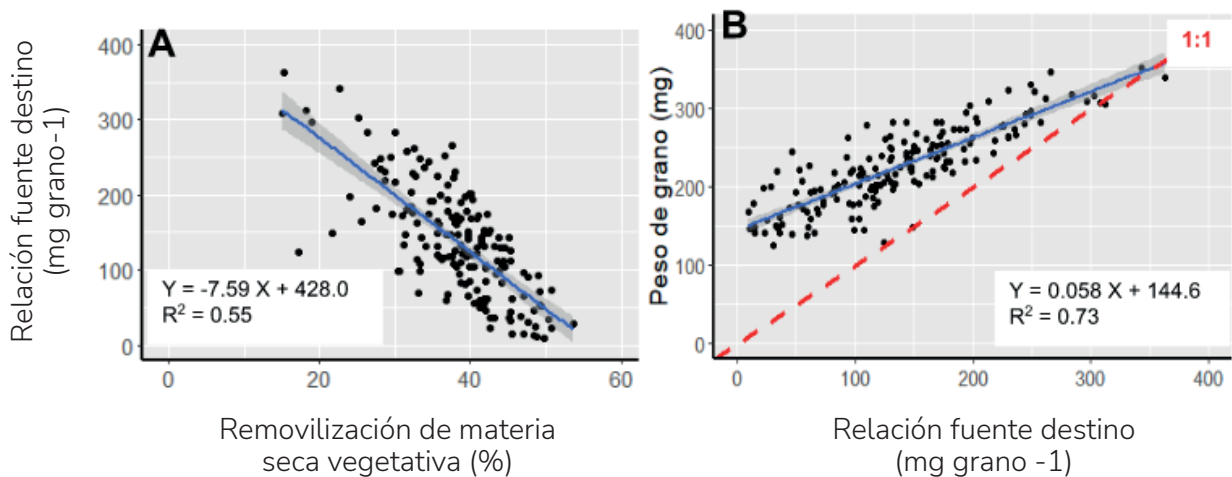


Figura 1. Respuesta de la relación fuente destino (F/D) durante el llenado de granos (mg grano⁻¹) a variaciones en la removilización de materia seca vegetativa (%; A) y variación del peso de granos (mg) frente a variaciones en la F/D (B). Líneas azules indican el ajuste de regresión lineal para todos los tratamientos ($p < 0.05$) y la banda gris indica el intervalo de confianza al 95%. En figura B la línea roja punteada indica la relación 1:1. Cada punto representa a una planta individual.

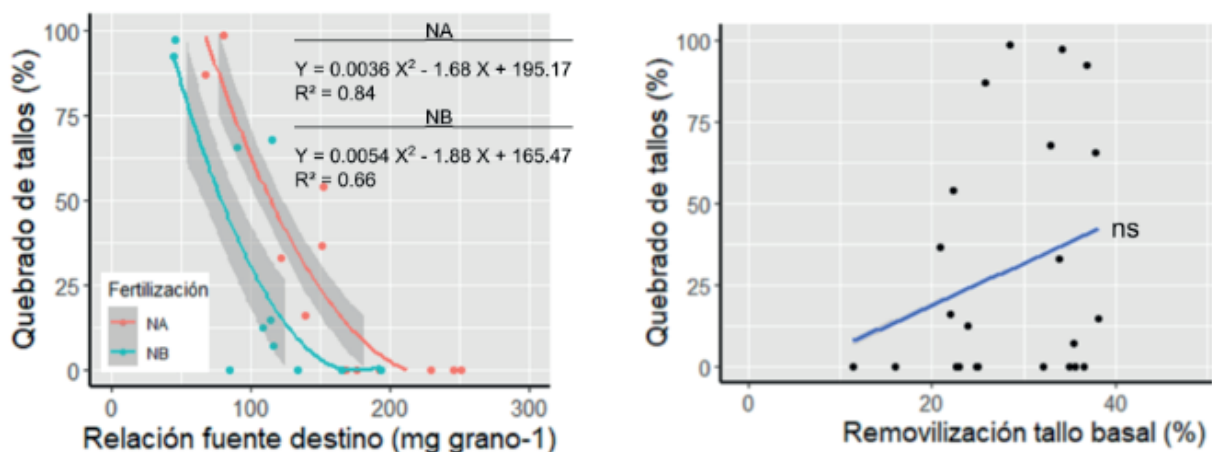


Figura 2. Respuesta del quebrado de tallos (%) frente a variaciones en la relación fuente destino durante el llenado de grano (A; mg grano⁻¹) y en la removilización de materia seca de la porción basal del tallo (B; %). En A, la línea roja corresponde a la combinación de tratamientos con 280 kg N ha⁻¹ (NA) y en azul con 180kg N ha⁻¹ (NB). La banda gris indica el intervalo de confianza al 95%. El ajuste para este set de datos correspondió a ecuaciones polinómicas de segundo grado indicadas para cada nivel en el gráfico ($p < 0.05$). Cada punto representa la media de los tratamientos evaluados.

Quebrado de tallos, removilización y relación fuente destino

El quebrado de tallos presentó interacción FN*RS*D*G ($p < 0.05$). El quebrado de tallos fue máximo en D16 (56 %) y solo de 5 % en D8. El sombreo incrementó el quebrado (21%) en D16, pero no en D8 (Interacción no presentada). DK7210 presentó el menor quebrado (40 vs. 11) en D16. Con D8, no existieron diferencias entre G.

La removilización de la MS fue 11% menor en los tratamientos fertilizados. El aumento de la D incrementó la removilización en 15% (Tabla 1).

La relación F/D tendió a ser máxima en D8-FN280 (244 mg grano⁻¹) y mínima en D16-FN180 (29 mg grano⁻¹). DK 7020 exhibió el menor valor de F/D (24% menor que los otros G evaluados).



Discusión

Quebrado e interacción entre prácticas de manejo

La disminución temporaria de la radiación solar durante el llenado de granos no afectó significativamente al número de granos, pero sí tendió a reducir el peso de grano en línea con antecedentes en maíz temprano (Cerrudo et al., 2013). La fuerte relación negativa encontrada entre el quebrado de tallos y la relación fuente destino (Figura 2.A) destaca la importancia de la acumulación de biomasa durante la post-floración y el rol de las reservas para sostener el crecimiento de granos (Daynard et al., 1969). En particular, el quebrado de tallos se incrementó significativamente en la densidad supra óptima, tratamiento que afectó relativamente en menor medida al número de granos que a la F/D (Tabla 1). Aunque en densidad supra-óptima la removilización fue mayor, no se encontró un modelo robusto entre dicha variable y el quebrado (Fig. 2 B). La sensibilidad de esta estructura de cultivo frente a sombros aún de corta duración como la evaluada en este estudio (+32% de quebrado bajo sombra) puede ser explicada por el alto número de granos fijados y refleja la inestabilidad de la fuente-destino durante el período de llenado. Es de destacar también el rol del genotipo en la susceptibilidad al quebrado (Tabla 1) ante cambios en el ambiente radiativo (NR; Tabla 1). Estos resultados complementan otros estudios que destacan el rol del genotipo frente a la interacción densidad*fertilización nitrogenada (Ogando et al., 2017a).

Relación fuente destino y crecimiento post-floración

Los resultados del presente estudio indican que el rendimiento en fechas de siembra tardía estuvo fuertemente determinado por la fuente de foto-asimilados durante el llenado de granos. Esto puede ser observado en la Fig. 1B que indica que la cantidad de asimilados producidos por el crecimiento en postfloración y disponible por grano (F/D) fue menor que el PG alcanzado (i.e. valores de PG por encima de la línea 1:1), destacando por ende, la contribución de la removilización de asimilados desde estructuras como los tallos. Estudios conducidos en latitudes más altas que la de este estudio (Bonelli et al., 2016, 2020) concluyen que el ambiente explorado durante el llenado de granos en fechas de siembra tardías no sería la principal limitante del crecimiento durante la post-floración sino la captura y uso de recursos en dicho estadio. Por el contrario, en ambientes de menor latitud como la de este estudio, la calidad ambiental durante el período crítico de maíces tardíos es adecuada para la fijación de un alto número de destinos (Vega et al., 2017), aspecto que podría inducir a una mayor demanda conjunta de la espiga (Echarte et al., 2006), incrementando por ende, el crecimiento durante la post-floración. No obstante, y a pesar del amplio rango de número de destinos fijados (4100 – 6800 granos m²), el peso de granos fue menor a los reportados para maíces tempranos. La codependencia del número y peso potencial de granos sobre el crecimiento durante el período centrado en floración (Gambín et al., 2006) podría explicar esta falta de respuesta.

Conclusión

El presente trabajo evaluó cómo la interacción entre prácticas de manejo (i.e. densidad de plantas, fertilización nitrogenada y genotipo) en dos ambientes contrastantes en disponibilidad lumínica durante el llenado de granos modulan la F/D en maíz tardío. En particular, se abordó cómo estos cambios impactan sobre la removilización de reservas y el quebrado de tallos. Los tratamientos evaluados permitieron explorar un amplio rango de relación fuente-destino que explicó linealmente el peso de granos. La dependencia del crecimiento de granos de asimilados provenientes de la



removilización de estructuras vegetativas destacan la importancia de la fuente de asimilados como factor limitante en fechas de siembra tardía. El quebrado de tallos mostró una fuerte correlación con la relación fuente-destino durante la post-floración, pero no se encontró evidencia directa entre aquel y la removilización de materia seca de tallo basal, sugiriendo que otros mecanismos estarían involucrados. Finalmente, más estudios son necesarios para resolver el interrogante acerca de potenciales limitaciones de fuente durante el llenado para alcanzar el rendimiento potencial del cultivo.

Apoyo Financiero

El presente trabajo fue financiado mediante proyectos INTA y un convenio de asistencia técnica a terceros. Federico Ogando, es becario de CONICET.



Referencias bibliográficas

Bonelli, L.E., A. Cerrudo, L.B. Olmedo Pico, J.A. Di Matteo, J.P. Monzon, R.H. Rizzalli, and F.H. Andrade. 2020. Does the photo-thermal environment limit post-flowering maize growth? *Field Crops Research* 252.

Bonelli, L.E., J.P. Monzon, A. Cerrudo, R.H. Rizzalli, and F.H. Andrade. 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., and M.E. Otegui. 2001. Maize kernel weight response to postflowering source - Sink ratio. *Crop Science* 41(6): 1816–1822.

Capristo, P. 2000. Variación del peso de grano en respuesta a la disponibilidad de recursos por planta en maíz, girasol y soja.

Casagrande, M.E., and R. V Zerpa. 2016. Variabilidad genotípica en la relación fuente-destino durante el llenado de granos de maíces sembrados en fechas tardías. Instituto A.P. Ciencias Básicas y Aplicadas.

Cerrudo, A., J. Di Matteo, E. Fernandez, M. Robles, L.O. Pico, and F.H. Andrade. 2013. Yield components of maize as affected by short shading periods and thinning. *Crop and Pasture Science* 64(6): 580–587.
<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84883469692&partnerID=40&md5=b5f26d32a082c25f9c5eeefc49c54d94>.

Coria, S., C.R.C. Vega, and F. Eslava. 2010. Dinámica temporal de la aparición de signos de podredumbre y enriado del tallo en genotipos de Maíz (*Zea mays* L.) que difieren en su tolerancia al quebrado y vuelco. Centro Universitario Mediterráneo, IAP Ciencias Básicas y Aplicadas.

Daynard, T.B., J.W. Tanner, and D.J. Hume. 1969. Contribution of Stalk Soluble Carbohydrates to Grain Yield in Corn (*Zea mays* L.)1. *Crop Science* 9(6): cropsci1969.0011183X000900060050x.

Echarte, L., F.H. Andrade, V.O. Sadras, and P. Abbate. 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.

Eslava, F., C.R.C. Vega, and S. Vargas Gil. 2008a. Análisis del quebrado y vuelco en maíz (*Zea mays* L.) bajo diferentes relaciones fuente/destino durante el llenado de granos. Centro Universitario Mediterráneo, IAP Ciencias Básicas y Aplicadas.

Eslava, F., C.R.C. Vega, S. Vargas Gil, and G. March. 2008b. Relación fuente/destino durante el llenado de granos y expresión de signos de la podredumbre del tallo en maíz. p. 148 (382). In Asociación Argentina de Fitopatólogos (ed.), Primer Congreso Argentino de Fitopatología. Córdoba.

Gambín, B.L., L. Borrás, and M.E. Otegui. 2006. Source-sink relations and kernel weight differences in maize temperate hybrids. *Field Crops Research* 95(2–3): 316–326.

Hisse, I.R., K.E. D'Andrea, and M.E. Otegui. 2019. Source-sink relations and kernel weight in maize inbred lines and hybrids: Responses to contrasting nitrogen supply levels. *Field Crops Research* 230: 151–159.

Ogando, F.A., M. García, M. Guerrero, and C.R.C. Vega. 2022. Respuesta del maíz a cambios en la densidad y fertilización nitrogenada en fechas de siembra contrastante. Congreso maíz tardío.

Ogando, F.A., F.A. Raspa, M. Pita, C. Alvares, and C.R. Vega. 2017a. Influencia de la interacción entre la densidad poblacional y la disponibilidad de nitrógeno sobre el rendimiento de maíz sembrado en verano. III Workshop Internacional de Ecofisiología de cultivos: 1–2.



Ogando, F.A., C.A. Santillán Hatala, F.A. Raspa, and C.R.C. Vega. 2017b. Brechas de rendimiento en maíz tardío en el norte de Córdoba: contribución de la densidad de plantas y la fertilización nitrogenada. II Congreso de maíz tardío (Pncyo 1127032): 1127032.

R Core Team. 2022. R: A language and environment for statistical computing. <https://www.r-project.org/>.

Di Rienzo, J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada, and C.W. Robledo. 2014. InfoStat (FCA Grupo InfoStat, Ed.). <http://www.infostat.com.ar/>.

Ritchie, S.W., J.J. Hanway, and G.O. Benson. 1992. How a corn plant grows. Iowa State Univ Sci Tech Coop Ext Serv Rep (48).

Uhart, S. a, and F.H. Andrade. 1995. Nitrogen and carbon accumulation and remobilization during grain filling in maize under defferent source/sink ratios. *Crop Science* 35(C): 183–190.

Vega, C.R.C., F.H. Andrade, V.O. Sadras, S.A. Uhart, and O.R. Valentinuz. 2001. Seed number as a function of growth. A comparative study in soybean, sunflower, and maize. *Crop Science* 41(3): 748–754.

Vega, C.R.C., C.J. Razquin, C.A.S. Hatala, and F.A. Ogando. 2017. Marco conceptual para la interpretación eco-fisiológica de la respuesta del maíz a la fecha de siembra. In Borrás, L., Uhart, S.A. (eds.), Primer Congreso de Maíz Tardío: un mismo maíz, un nuevo desafío. Bs. As.

Vitantonio-Mazzini, L.N., L. Borrás, L.A. Garibaldi, D.H. Pérez, S. Gallo, and B.L. Gambin. 2020. Management options for reducing maize yield gaps in contrasting sowing dates. *Field Crops Research* 251.

Wickham, H. 2016. ggplot2: Elegant graphics for data analysis.