50 AÑOS PENSANDO EL FUTURO | XIII CONGRESO NACIONAL DE MAÍZ

VARIABILIDAD GENOTÍPICA EN LA REMOVILIZACIÓN DE RESERVAS DEL TALLO COMO DETERMINANTE DE LA ESTABILIDAD DE CAÑA EN MAÍZ TARDÍO

Montes, C.D[1]; D'Andrea K.E.[2]; Vega, C.R.C[2].
INTA AER General Pico, Calle 8 N°1056, General Pico, La Pampa, Argentina montes.camilo@inta.gob.ar
INTA EEA Manfredi, RN 9 km 636, Manfredi, Córdoba, Argentina, vega.claudia@inta.gob.ar
Universidad de Buenos Aires – IFEVA – CONICET kdandrea@agro.uba.ar

Genotypic Variability in Stem Reserve Remobilization as a Determinant of Stalk Stability in Late-Sown Maize

Abstract
In late-sown maize, grain filling occurs under low radiation, reducing photoassimilate supply and increasing reliance on stem reserves, which raises the risk of stalk lodging. This study evaluated whether genotypic variability in stem reserve remobilization determines differences in stalk stability under contrasting nitrogen and post-flowering radiation conditions. Over two growing seasons at INTA Manfredi, four commercial hybrids were grown under two nitrogen levels and exposed to transient shading during grain filling to simulate low-radiation conditions typical of late sowings. Yield, kernel number and weight, source/sink ratio, stem soluble carbohydrate remobilization, and stalk breakage were measured. Nitrogen deficiency and shading reduced yield mainly through lower kernel weight, without a consistent interaction on basal reserve remobilization, indicating that nitrogen and radiation acted through largely independent physiological pathways. In contrast, hybrids differed markedly in the magnitude and efficiency of stem reserve remobilization, and this genotypic variability was closely associated with the proportion of broken stalks. Genotypes with greater remobilization capacity showed higher lodging risk, revealing a trade-off between reserve mobilization for grain filling and stalk structural integrity. These results highlight genotypic variability in remobilization as a key, currently underexploited trait for improving stalk stability in late-sown maize systems.

Palabras claves
Maíz tardío, fuente/destino, carbohidratos solubles en tallo, peso de granos.

Keywords
Late sown maize, source-sink, stem soluble carbohydrates, kernel weight

Introducción

La maximización de rendimiento en maíz (*Zea mays* L.) se logra con altas tasas de crecimiento durante el período crítico alrededor de floración (Andrade *et al.*, 2002). Durante el llenado, el balance entre la oferta de carbohidratos por fotosíntesis y la demanda de los granos determina el grado de removilización de reservas del tallo (Daynard et al., 1969; Cliquet et al., 1990). La removilización de carbohidratos es un mecanismo que compensa limitantes durante el llenado, pero puede comprometer la integridad estructural del tallo y aumentar la susceptibilidad al quebrado cuando es excesiva (Eslava, et al., 2008; Robertson *et al.*, 2014). En casos extremos, las pérdidas productivas en maíz pueden variar entre 5-25% (Flint-Garcia *et al.*, 2003). La removilización es más frecuente en fechas de siembra tardías, cuando el llenado de

granos ocurre bajo condiciones de menor radiación y temperatura, y mayor frecuencia de nubosidad (Maddonni, 2012). El crecimiento durante la postfloración también determina la relación fuente-destino (F/D) y la duración del llenado (Andrade et al., 1993; Uhart y Andrade, 1995; Gambín et al., 2006;; Bonelli *et al.*, 2016; Bonelli y Andrade, 2020). La intensidad de los desbalances entre oferta y uso de carbohidratos depende tanto de la radiación solar como del estado nutricional del cultivo. Restricciones transitorias de luz limitan directamente el crecimiento de los granos (Cerrudo *et al.*, 2013), mientras que una adecuada disponibilidad de nitrógeno favorece la persistencia del área foliar verde y la fotosíntesis postfloración, contribuyendo a mantener un balance fuente-destino más favorable (Uhart y Andrade, 1995; Hisse et al., 2019). Si bien nitrógeno, radiación y disponibilidad de recursos por planta fueron estudiadas por separado en relación a F/D y rendimiento (Bonelli et al., 2016; Borrás y Otegui, 2001), se desconoce cómo una mayor disponibilidad de nitrógeno puede mitigar el desbalance provocado por una restricción transitoria de radiación durante el llenado, y cómo esta interacción condiciona la removilización de reservas y el quebrado de tallos en maíz tardío.

El **objetivo** de este trabajo fue determinar cómo la interacción entre la disponibilidad de nitrógeno y restricciones transitorias de radiación durante el llenado modifica el balance fuente-destino y cómo estos cambios condicionan la removilización de reservas del tallo y el quebrado en maíz tardío.

Materiales y Métodos

El experimento se realizó en 2019/2020 y 2020/2021 en EEA INTA Manfredi, Córdoba, Argentina (31°51’30” S; 63°44’00” O), bajo riego suplementario para evitar restricciones hídricas. Se sembró maíz tardío (15 de diciembre) a 8 plantas m^{-2} y 0.52 m entre surcos. Se evaluaron cuatro genotipos contrastantes en sus mecanismos de generación de rendimiento. El diseño experimental fue de parcelas sub-subdivididas con tres repeticiones, donde la parcela principal correspondió al nivel de nitrógeno (N), la subparcela al genotipo y la sub-subparcela al tratamiento de radiación. Se aplicaron dos niveles de nitrógeno (180 y 300 kg N ha^{-1}; N180 y N300) fraccionados en V6 y V15 y dos momentos de sombreo: al final del período crítico (S1; floración +200 °Cd) y durante la fase lineal del llenado de granos (S2; floración +440 °Cd). El sombreo se implementó con mallas durante ocho días consecutivos (60% de reducción con respecto al control).

La relación fuente-destino (F/D; mg $grano^{-1}$) se estimó como el cociente entre el incremento de biomasa aérea entre R2 y R6 y el número de granos por unidad de superficie. La removilización de materia seca de tallo total y basal (fracción comprendida entre la base de la planta y dos entrenudos por debajo de la espiga) se calculó como la diferencia de biomasa entre R2 y R6, mientras que la removilización de carbohidratos solubles del tallo (CHS) se calculó como la diferencia de los valores de este rasgo entre R2 y R5. La evolución del peso seco de los granos se determinó cada 15 días mediante muestreos destructivos de los granos ubicados en la parte media de la espiga desde R1 hasta madurez fisiológica (R6). El quebrado de tallos se evaluó semanalmente desde R6 hasta la cosecha (60–80 días posteriores), registrándose el porcentaje de plantas quebradas por debajo de la inserción de la espiga. Los datos se analizaron mediante modelos lineales mixtos, considerando la disponibilidad de nitrógeno, el genotipo y la radiación como efectos fijos, mientras que la campaña y el bloque se incluyeron como

efectos aleatorios. La significancia de los efectos se evaluó mediante análisis de la varianza (ANVA) y las medias se compararon utilizando la prueba LSD de Fisher ($\alpha = 0,05$). Las asociaciones entre la relación F/D, la removilización de reservas y el quebrado de tallos se analizaron mediante correlaciones de Pearson y modelos de regresión lineal.

Resultados

1. La disponibilidad de nitrógeno y la radiación modificaron el rendimiento mediante diferentes mecanismos fisiológicos

En este estudio, el rendimiento varió entre 1090 y 1410 gm^{-2}; fue afectado por genotipo, N y radiación durante la postfloración, sin interacciones importantes entre tratamientos (Tabla 1). Como era esperable ante una limitación moderada del N (N180), el número de granos fue igual al tratamiento de N300. N180 disminuyó el rendimiento aproximadamente un 9 % (1232 vs. 1121 g m^{-2}) a través de su efecto sobre la reducción del peso de granos (301 vs. 278 mg). El efecto de la radiación dependió del momento en que ocurrió la restricción. El sombreo aplicado hacia el final del período crítico (S1) redujo el número de granos en 19 % respecto del control (3562 vs. 4398 granos m^{-2}). Este efecto fue compensado parcialmente a través del incremento del peso de granos (329 vs. 306 mg), resultando en una reducción del rendimiento del 15 %. Por el contrario, el sombreo durante la fase lineal del llenado (S2) no modificó el número de granos, pero redujo su peso hasta 233 mg, provocando la mayor disminución del rendimiento (23 %).

2. El balance entre fuente y destinos dependió principalmente de la radiación solar, siendo el N un modulador de magnitud distinta según el momento de restricción lumínica

La F/D durante el llenado de granos varió significativamente por el genotipo, la disponibilidad de N y la radiación (Tabla 1). N300 incrementó la F/D en 13 %. S1 presentó la mayor F/D (252 mg $grano^{-1}$), incluso superiores al control (211 mg $grano^{-1}$). En contraste, S2 redujo la F/D hasta 143 mg $grano^{-1}$.

G2 presentó mayor F/D (205 mg $grano^{-1}$), seguido por G4 (174 mg $grano^{-1}$), y luego G1 con la menor F/D (134 mg $grano^{-1}$). Aunque G2 tuvo mayo F/D, también mostró mayor removilización de reservas, probablemente asociada a su mayor número de granos en relación a G4. Por el contrario, G4, con menor número de granos, presentó una menor removilización.

3. Relación entre la F/D y la removilización de reservas del tallo

Las modificaciones en F/D estuvieron acompañadas por cambios en la removilización de biomasa y CHS (Tabla 1). S2, que presentó la menor F/D, promovió la máxima removilización de biomasa tanto del tallo total (33 g/pl) como del tallo basal (21 g/pl) entre tratamientos. Un patrón similar se observó para los carbohidratos solubles, cuya removilización fue máxima bajo S2, particularmente en el tallo basal. N180 incrementó principalmente la removilización del tallo basal, mientras que su efecto sobre la removilización del tallo total fue menor. Entre genotipos, G2 y G3 presentaron la mayor removilización, mientras que ésta fue mínima en G4. Cabe destacar, que, junto con el quebrado, la removilización fue una de las variables que mejor reflejó las interacciones entre tratamientos. Este hallazgo es notable ya que contribuye a identificar un rol importante del N más allá de su efecto sobre el rendimiento. Una mayor disponibilidad

de N también contribuye con procesos fisiológicos asociados a la removilización, ampliando la comprensión de su rol en maíces sembrados en fecha tardía.

Tabla 1. Rendimiento (RTO, g m^{-2}), número de granos por m^{-2} (NG), peso de mil granos (PG), porcentaje de quebrado de tallos (Q), relación fuente/destino (F/D, mg $grano^{-1}$) y removilización de materia seca (g/pl) del tallo basal (MS basal), tallo total (MS tallo), vegetativa total (MS veg), y de carbohidratos solubles (g/pl) del tallo basal (CHS basal) y del tallo total (CHS tallo) para los genotipos (G1, G2, G3, G4), niveles de nitrógeno (N300; N180) y de radiación (C: control; S1 y S2: sombreo) evaluados.

					Removilización					
Fuentes variación	RTO	NG	PG	Q	MS basal	MS tallo	MS veg	CHS basal	CHS tallo	F/D
Genotipo (G)										
G1	1133 c	4065 b	284 b	22b	10 b	14 b	26	5 c	10 b	134 d
G2	1233 a	4255 a	293 a	33a	14 a	23 a	23	8 a	14 a	205 a
G3	1177 b	4093 b	290 a	22b	14 a	20 a	24	6 b	8 c	145 c
G4	1162 bc	4035 b	292 a	17c	6 c	12 b	21	3 d	4 d	174 b
Nitrógeno (N)										
N300	1232 a	4109	301 a	18 b	9 b	16 b	18 b	5 b	8 b	183 a
N180	1121 b	4115	278 b	29 a	14 a	19 a	29 a	6 a	10 a	146 b
Radiación (Rad)										
C	1347 a	4398 a	306 b	19 b	10 b	13 b	25 b	5 b	8 b	176 b
S1	1142 b	3562 b	329 a	8 a	3 c	6 c	7 c	3 c	4 c	209 a
S2	1040 c	4376 c	233 c	44 c	21 a	33 a	39 a	9 a	14 a	108 c
ANVA										
G	***	***	**	***	***	***	ns	***	***	***
N	***	ns	***	***	***	*	***	***	**	***
Rad	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
N×G	ns	ns	**	**	ns	***	***	ns	ns	ns
N×Rad	*	ns	ns	*	*	ns	ns	*	ns	*
G×Rad	ns	*	*	***	**	*	ns	***	ns	ns
N×G×Rad	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

* p<0,05; ** p<0,01; *** p<0,001; ns: no significativo (p≥0,05).

4. La removilización del tallo basal estuvo estrechamente asociada con el desarrollo del síndrome del quebrado de tallos y vuelco

El quebrado fue afectado por todos los tratamientos y su interacción (Tabla 1). La menor disponibilidad de N (N180) incrementó el quebrado del 18 al 29 %. Bajo sombreo, S2 produjo el mayor quebrado (44%), más del doble que C (19%) y más de cinco veces que S1 (8%). Las diferencias entre genotipos fueron consistentes con la intensidad de la removilización de reservas. G2 presentó el mayor porcentaje de quebrado (33 %), mientras que G4 mostró la mayor estabilidad de tallos (17 %).

5. La removilización basal constituyó el principal nexo entre el balance fuente-destino y el quebrado

El análisis conjunto de las variables fisiológicas mostró una estrecha asociación entre la removilización de reservas, la fuente-destino y el quebrado de tallos (Figura 1). En los cuatro genotipos, el incremento de la removilización de materia seca del tallo basal (Figura 1E–H) y de carbohidratos solubles (Figura 1I–L) estuvo acompañado por mayores porcentajes de quebrado (Figura 1A–D). Del mismo modo, la menor F/D (Figura 1M–O) se asoció consistentemente con un incremento del quebrado en ambos años de evaluación, evidenciando que los tratamientos con menor disponibilidad relativa de

fotoasimilados fueron también aquellos con mayor dependencia de las reservas estructurales del tallo.

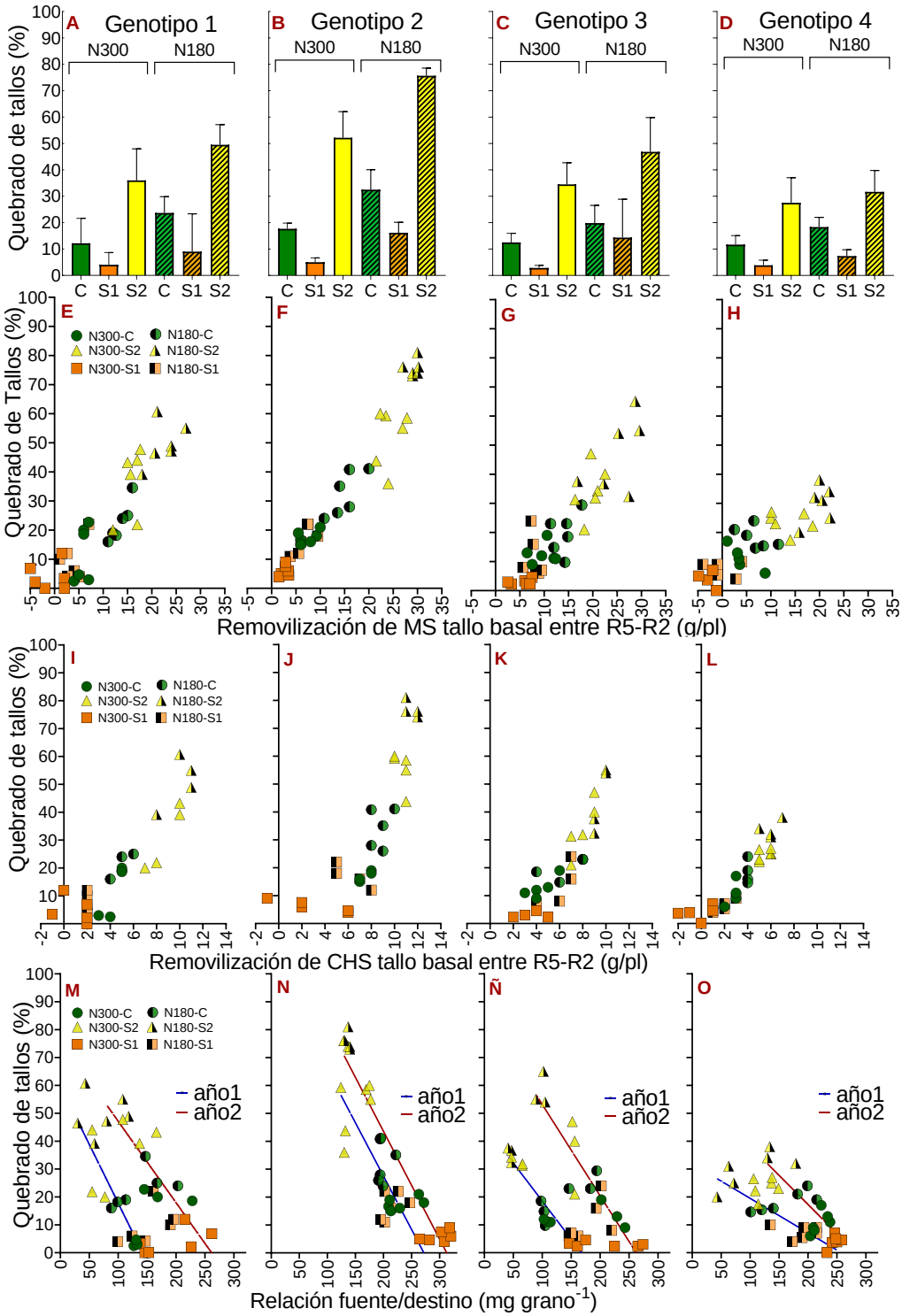

Figura 1. Porcentaje de quebrado de tallos en cuatro genotipos (Genotipo 1, 2, 3 y 4) cultivados bajo dos niveles de nitrógeno (N300: alto; N180: bajo) y tres niveles de radiación durante el llenado de granos (C: control; S1 y S2: sombreo), y su relación con la removilización de materia seca (MS) del tallo basal (paneles E-H), la removilización de carbohidratos solubles (CHS) del tallo basal (paneles I-L) y la relación F/D (paneles O-M) para los dos años de evaluación (año1, año2). Las barras representan el promedio ± error estándar.

Aunque el patrón fue común a todos los genotipos, la magnitud de la respuesta difirió entre materiales. En G1 (Figura 1A, E, I, M) y G3 (Figura 1C, G, K, Ñ) el quebrado acompañó el aumento de removilización basal y la caída de F/D con una intensidad intermedia. En G2 (Figura 1B, F, J, N) esta asociación fue la más marcada: los mayores niveles de removilización de MS y CHS basal coincidieron con los mayores porcentajes de quebrado registrados en el ensayo. En G4 (Figura 1D, H, L, O), en cambio, la relación entre removilización y quebrado fue la más atenuada: aun frente a caídas de F/D similares al resto de los genotipos, la removilización basal se mantuvo baja y el quebrado permaneció en los valores más bajos del ensayo. La tendencia entre quebrado y F/D fue similar entre años (Fig. 1M-O), pero en el año 2 la mayor F/D coincidió con más rendimiento y número de granos, reflejando mayor demanda de recursos, mayor removilización y, en consecuencia, más quebrado de tallos.

Discusión

1. Efecto del nitrógeno sobre la F/D, la removilización de reservas y el rendimiento

La menor disponibilidad de N (N180) disminuyó el rendimiento en 9% a través de su efecto sobre el peso de grano, sin cambios en el número de granos, consistente con lo descripto para maíz temprano (Borrás y Otegui, 2001; Cerrudo *et al.*, 2013; Hisse *et al.*, 2019; Moises *et al.*, 2024). Esta reducción en el peso responde al efecto del N sobre F/D durante el llenado de grano (Hisse *et al.*, 2019). Esto coincide con estudios que muestran que la removilización de N desde órganos vegetativos disminuye la relación F/D (Gallais y Coque, 2005; Hisse *et al.*, 2019; Olmedo Pico *et al.*, 2021) lo que acelera la senescencia y anticipa la madurez (Uhart y Andrade, 1995). Una mayor disponibilidad de N no solo se tradujo en mayor peso de grano y mayor rendimiento (Moises *et al.*, 2024), sino también en una menor removilización de reservas del tallo.

En este estudio, la intensidad de la restricción de N y sus efectos sobre la F/D fue menor comparativamente que el de la radiación (20 % vs. hasta 38%). Estos efectos, frecuentes en siembras tardías a la latitud de nuestro estudio, demuestran la importancia de la fijación del carbono como principal determinante de la estabilidad de la F/D. Otros estudios en latitudes más altas, destacan que el factor limitante en siembras tardías estaría más asociado con la eficiencia de uso más que con la captura de recursos (Bonelli *et al.*, 2016; Bonelli y Andrade, 2020). Los valores de NG logrados en los controles son el resultado de las buenas condiciones ambientales durante el período crítico (Vega *et al.*, 2017) que incrementaron la demanda de asimilados en la espiga (Echarte *et al.*, 2006), aspectos que explicarían por qué el crecimiento post-floración y, por lo tanto, el carbono resultó más determinante en este caso. También el momento de la restricción fue importante: S1 redujo oferta y demanda al mismo tiempo, mientras que S2 afectó solo la oferta una vez que el número de granos ya estaba definido, generando un desbalance mayor (Daynard *et al.*, 1969)

2. La removilización de reservas del tallo fue la respuesta compensatoria, pero implicó un costo estructural que intensificó el síndrome del quebrado

Ante la caída de F/D debida a la menor disponibilidad de N, la removilización de biomasa y CHS basal y total aumentaron inversamente (Tabla 1), confirmando el mecanismo compensatorio (Uhart y Andrade, 1995a). N300 habría sido más relevante bajo la restricción de radiación durante llenado de granos (S2) que en control o S1.

El quebrado aumentó de 18 % (N300) a 29 % (N180) para todos los tratamientos. La removilización basal fue el indicador más asociado al quebrado (Figura 1E–H vs. 1A–D), por encima de la removilización total (datos no mostrados). No es la magnitud total de biomasa removilizada la que compromete la estabilidad, sino el sitio, los entrenudos basales, que soportan la mayor carga mecánica (Robertson et al., 2015), en línea con estudios que atribuyen el quebrado al agotamiento fisiológico (Eslava *et al.*, 2008; Coria *et al.*, 2010)

Tanto la removilización basal de MS como la de CHS mostraron interacción significativa N×Rad ($p<0,05$, Tabla 1). Esto indica que la sección basal fue el principal reservorio removible para sostener el llenado de granos, lo que explica en mayor medida el quebrado observado en comparación con la removilización total vegetativa, la cual respondió al N y la radiación de forma independiente, sin interacción significativa entre ambos factores.

La variabilidad genotípica respalda esta relación causa-efecto: G2, con mayor removilización basal y mayor F/D, mostró el mayor quebrado, sugiriendo que depender mucho de reservas internas para sostener el llenado de granos puede comprometer la integridad estructural del tallo. En contraste, G4 con menor removilización y quebrado, si bien mostró menor F/D que G2, probablemente mantuvo más fuente activa (área foliar verde) y, por lo tanto, menor dependencia de reservas. La interacción N×Rad también fue significativa para el quebrado ($p<0,05$): el efecto del N sobre la estabilidad de caña fue mayor bajo S2. Dicha interacción también fue significativa para la removilización basal de materia seca, por lo que es probable que parte del efecto del N sobre el quebrado bajo S2 esté relacionado con este mecanismo, aunque también podrían influir el peso de grano o la F/D.

Conclusión

La removilización de reservas del tallo, y en particular su fracción basal, resultó ser el mecanismo central que vincula al ambiente post-floración con la estabilidad de caña en maíz tardío. La interacción N×Radiación fue significativa sobre esta removilización basal y sobre el quebrado, demostrando que el aporte de N atenúa el riesgo de quebrado principalmente bajo reducción de radiación durante llenado de granos. No obstante, el hallazgo más relevante fue la marcada variabilidad genotípica: los genotipos con mayor removilización basal (G2) presentaron sistemáticamente mayor quebrado, mientras que aquellos con menor dependencia de reservas (G4), mantuvieron la mayor estabilidad de caña. Esto indica que la capacidad de removilización, más que la disponibilidad ambiental por sí sola, es un determinante clave y manejable de la estabilidad de caña, aportando un criterio fisiológico relevante para la elección de genotipos en siembras tardías.

Bibliografía

Andrade, F. *et al.* (2002) «Kernel number prediction in maize under nitrogen or water stress», *Crop Science*, 42(4), pp. 1173-1179. doi: 10.2135/cropsci2002.1173.

Andrade, F., Uhart, S. A. y Frugone, M. I. (1993) «Intercepted radiation at flowering and kernel number in maize: shade versus plant density effects», *Crop Science*, 33, pp. 482-485.

Bonelli, L. y Andrade, F. (2020) «Maize radiation use-efficiency response to optimally distributed foliar-nitrogen-content depends on canopy leaf-area index», *Field Crops Research*, 247.

Bonelli, L. E. *et al.* (2016) «Maize grain yield components and source-sink relationship as affected by the

delay in sowing date», *Field Crops Research*, 198, pp. 215-225. doi: 10.1016/J.FCR.2016.09.003.

Borrás, L. y Otegui, M. E. (2001) «Maize kernel weight response to postflowering source - Sink ratio», *Crop Science*, 41(6), pp. 1816-1822. doi: 10.2135/cropsci2001.1816.

Cerrudo, A. *et al.* (2013) «Yield components of maize as affected by short shading periods and thinning», *Crop and Pasture Science*, 64(6), pp. 580-587. doi: 10.1071/CP13201.

Cliquet, J. B., Deléens, E. y Mariotti, A. (1990) C and N Mobilization from Stalk and Leaves during Kernel Filling by 13C and 15N Tracing in Zea mays L.», *Plant Physiology*, 94(4), pp. 1547-1553. doi: 10.1104/PP.94.4.1547.

Coria, S., Vega, C. R. C. y Eslava, F. (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*. Universidad Nacional de Villa María.

Daynard, T. B., Tanner, J. W. y Hume, D. J. (1969) «Contribución de los carbohidratos solubles del tallo al rendimiento de grano de maíz (*Zea mays* L.) 1», *Ciencia de los cultivos*, 9(6), pp. 831-834.

Echarte, L. *et al.* (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), pp. 307-312.

Eslava, F., Vega, C. R. C. y Vargas Gil, S. (2008) *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*. Universidad Nacional de Villa María.

Flint-Garcia, S. A. *et al.* (2003) «Quantitative trait locus analysis of stalk strength in four maize populations», *Crop Sci*, 43(1), pp. 13-22. Disponible en: http://crop.scijournals.org/cgi/content/abstract/43/1/13.

Gallais, A. y Coque, M. (2005) Genetic variation and selection for nitrogen use efficiency in maize: A synthesis, *Maydica*, 50(3-4), pp. 531-547.

Gambín, B. L., Borrás, L. y Otegui, M. E. (2006) «Source-sink relations and kernel weight differences in maize temperate hybrids», *Field Crops Research*, 95(2-3), pp. 316-326. doi: 10.1016/j.fcr.2005.04.002.

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

Maddonni (2012) «Analysis of the climatic constraints to maize production in the current agricultural region of Argentina-a probabilistic approach», *Theoretical and Applied Climatology*, 107(3-4), pp. 325-345.

Moises, C. *et al.* (2024) «Nitrogen deficiency in maize fields of the Southern Pampas does not affect kernel number but reduces weight per kernel», *Field Crops Research*, 312, p. 109394. doi: 10.1016/j.fcr.2024.109394.

Olmedo Pico, L. B., Zhang, C. y Vyn, T. J. (2021) «The central role of ear nitrogen uptake in maize endosperm cell and kernel weight determination during the lag period», *Field Crops Research*, 273.

Robertson, D. *et al.* (2014) «An improved method for accurate phenotyping of corn stalk strength», *Crop Science*, 54(5), pp. 2038-2044. doi: 10.2135/cropsci2013.11.0794.

Robertson, D. J. *et al.* (2015) «Corn stalk lodging: A forensic engineering approach provides insights into failure patterns and mechanisms», *Crop Science*, 55(6), pp. 2833-2841. doi: 10.2135/cropsci2015.01.0010.

Santillán Hatala C et al. (2016) *Variabilidad genotípica en el proceso de removilización de biomasa y su asociación con el rendimiento en el cultivo de maíz.*

Uhart, S A y Andrade, F. H. (1995) «Nitrogen and carbon accumulation and remobilization during grain filling in maize under different source/sink ratios», *Crop Science*, 35(1), pp. 183-190.

Uhart, S. A. y Andrade, F. H. (1995) «Nitrogen deficiency in maize: I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning, and kernel set», *Crop Science*, 35(5), pp. 1376-1383.

Vega *et al.* (2017) Marco conceptual para la interpretación eco-fisiológica de la respuesta del maíz a la fecha de siembra.