

LA DISPONIBILIDAD DE NITRÓGENO Y LA FECHA DE SIEMBRA MODULAN LA PLASTICIDAD REPRODUCTIVA DEL MAÍZ (*Zea mays* L.) A TRAVÉS DE LA PRODUCTIVIDAD DE LA ESPIGA SUB-APICAL Y NO DE LA PROLIFICIDAD

Kugler, F.^{1*}; Guardone Cenere, F.²; West, J.¹; Cagnola, J.I.^{2,3}; Maddonni, G.A.^{1,3}

¹ Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Departamento de Producción Vegetal, Cátedra de Cerealicultura, Av. San Martín 4453, C1417DSE, Buenos Aires, Argentina.

² Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Departamento de Producción Vegetal, Cátedra de Cultivos Industriales, Av. San Martín 4453, C1417DSE, Buenos Aires, Argentina.

³ Facultad de Agronomía, IFEVA, Universidad de Buenos Aires, CONICET, Buenos Aires, Argentina.

* fkugler@agro.uba.ar

NITROGEN AVAILABILITY AND SOWING DATE MODULATE MAIZE (*Zea mays* L.) REPRODUCTIVE PLASTICITY VIA SECOND-EAR PRODUCTIVITY RATHER THAN PROLIFICACY

Reproductive plasticity, such as prolificacy, is a key mechanism underlying maize yield stability under defensive management systems characterized by low plant densities and late sowings. Uncertainty regarding expected productivity often leads to limited use of fertilizers (e.g., N fertilization), which can restrict the expression of prolificacy. Differences in prolificacy among genotypes has been traditionally described by the number of ears per plant. However, it remains unclear whether prolificacy itself or second-ear productivity better explains crop yield responses to management. This study evaluated the effects of N availability, sowing date, and genotype on prolificacy and second-ear productivity in four maize hybrids grown at 3 plants m⁻². A field experiment was conducted using two sowing dates (early and late), four hybrids and three N treatments (0, 200 kg N ha⁻¹ at V3, and 200 kg N ha⁻¹ at V9). Grain yield, prolificacy, and the contribution of the apical and second ears to crop yield were determined at physiological maturity. Nitrogen increased grain yield only under early sowing, whereas prolificacy remained unchanged across N treatments, sowing dates, and genotypes. In contrast, both second-ear productivity and its contribution to crop yield were strongly affected by the management and genotype. These results demonstrate that reproductive plasticity is expressed through the productivity of existing second ears rather than by increasing their occurrence. Therefore, second-ear productivity is a more robust physiological indicator of maize reproductive plasticity than prolificacy.

Palabras clave: Manejo defensivo, bajas densidades, fertilización nitrogenada, fecha de siembra, genotipo.

Keywords: Defensive management; low plant densities; Nitrogen fertilization; Sowing date; Genotype.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) ha expandido su producción en Argentina hacia ambientes con mayor variabilidad climática y limitaciones edáficas, donde predominan

estrategias de manejo defensivas caracterizadas por siembras tardías y bajas densidades de plantas (Maddonni, 2012; Rotili et al., 2019; Maddonni et al., 2021).

En estos sistemas, la estabilidad del rendimiento depende en gran medida de la plasticidad reproductiva del cultivo y los productores ante la incertidumbre del rendimiento a obtener, en general reducen o evitan el uso de fertilizantes. La prolificidad, definida como la capacidad de una planta para desarrollar una segunda espiga fértil, ha sido tradicionalmente considerada uno de los principales mecanismos que explican dicha plasticidad. Bajo condiciones de baja densidad y crecimiento no restrictivo, la espiga sub-apical (E2) puede contribuir significativamente al rendimiento mediante un incremento en el número de granos por planta (Tollenaar et al., 1992; Otegui et al., 1995; Ross et al., 2020). Sin embargo, la sola presencia de una segunda espiga no garantiza un mayor rendimiento, ya que su contribución depende de su capacidad para fijar y llenar granos, es decir, de su productividad.

La productividad de E2 está estrechamente asociada al crecimiento de la planta durante el período crítico alrededor de floración y a la disponibilidad de recursos para sostener su desarrollo reproductivo (Echarte et al., 2004; Ciancio et al., 2016). Entre los principales factores que regulan este proceso se destacan la disponibilidad de nitrógeno, que incrementa la tasa de crecimiento y puede mejorar la eficiencia reproductiva de la espiga sub-apical (Lemaire y Ciampitti, 2020; Maltese et al., 2021), y la fecha de siembra, que modifica el ambiente fototermal y la disponibilidad de radiación durante el período crítico (Ross et al., 2020; Maddonni et al., 2021). Asimismo, existen diferencias genotípicas en la capacidad de sostener el crecimiento y la productividad de la segunda espiga.

Aunque la respuesta de la prolificidad al manejo y al ambiente ha sido ampliamente estudiada, aún se desconoce si este rasgo constituye un indicador adecuado de la plasticidad reproductiva o si la productividad de la segunda espiga explica mejor la respuesta del rendimiento del cultivo frente a cambios en la disponibilidad de nitrógeno y la fecha de siembra en sistemas de siembra con estrategias de manejo defensivo.

El objetivo de este trabajo fue evaluar cómo la disponibilidad de nitrógeno y la fecha de siembra modulan la plasticidad reproductiva del maíz, determinando la importancia relativa de la prolificidad y de la productividad de la segunda espiga como indicadores de la respuesta del rendimiento del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un experimento en el campo experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires en la campaña 2025-2026. Se evaluaron cuatro híbridos de maíz (Híbrido 1=Natal 1245, Híbrido 2=Natal Z8+, Híbrido 3=DK7220 e Híbrido 4= Supra GDM 24-13) sembrados a una densidad de 3 plantas m^{-2} en dos fechas de siembra (FdeS) contrastantes: temprana (12 de noviembre del 2025) y tardía (5 de enero del 2026); y bajo tres condiciones de oferta de nitrógeno: sin fertilización (Control), aplicación de 200 kg N ha^{-1} en V3 (Fert. V3) y aplicación de la misma dosis en V9 (Fert. V9). El diseño experimental fue de parcelas subdivididas en bloques completos

al azar con tres repeticiones, considerando la fecha de siembra como parcela principal, la fertilización como subparcela y el genotipo como sub-subparcela.

Utilizando 8 plantas representativas para cada parcela se determinó en madurez fisiológica (R6) el número de granos y el peso de granos de E1 y E2 de forma independiente. Se calculó el rendimiento (kg/ha) de E1 y E2 como el producto del número por el peso de los granos y por la densidad (n° plantas/ha), el rendimiento del cultivo (kg/ha) como la sumatoria del rendimiento de E1 más E2 y la prolificidad como el cociente entre el número de espigas cosechables (E1 más E2) y el número de plantas muestreadas. La productividad o contribución de E2 se calculó como el cociente entre el rendimiento de E2 y el rendimiento del cultivo.

RESULTADOS

La respuesta del rendimiento del cultivo a la fertilización nitrogenada dependió de la fecha de siembra (interacción FdeS $\times$ N $p < 0,01$; Fig.1A). En la siembra temprana, el incremento en la disponibilidad de N elevó significativamente el rendimiento, sin existir un efecto según el momento de fertilización (Fert. V3 vs Fert. V9). En contraste, en la siembra tardía el efecto de la fertilización de N fue considerablemente menor debido seguramente a un mayor N disponible en el suelo por mineralización de la materia orgánica.

La prolificidad no fue afectada por la interacción FdeS $\times$ N ($p=ns$; Fig.1B), manteniéndose prácticamente constante entre tratamientos, indicando que las diferencias de rendimiento entre FedS y niveles de N no estuvieron asociadas a cambios en el número de espigas por planta.

El rendimiento de la espiga apical (E1) disminuyó significativamente en la siembra tardía respecto de la temprana ($p < 0,0001$), mientras que la fertilización nitrogenada no modificó este componente (Fig.1C). En cambio, el rendimiento de la espiga sub-apical (E2) mostró una marcada interacción FdeS $\times$ N ($p < 0,0001$; Fig.1D). En la siembra temprana, el rendimiento de la segunda espiga aumentó sustancialmente con la fertilización nitrogenada, mientras que en la siembra tardía resultó menor que en la temprana y no respondió a los tratamientos de N, alcanzando niveles similares al de la fecha temprana sin fertilización.

En consecuencia, la contribución de la segunda espiga al rendimiento del cultivo también presentó una interacción significativa FdeS $\times$ N ($p < 0,0001$; Fig. 1E). Bajo siembra temprana, la segunda espiga llegó a representar cerca del 40% del rendimiento total en los tratamientos fertilizados, mientras que en la siembra tardía su contribución se mantuvo alrededor del 25–30%, independientemente de la dosis de N.



50 AÑOS
PENSANDO
EL FUTURO

XIII
CONGRESO
NACIONAL
DE MAÍZ

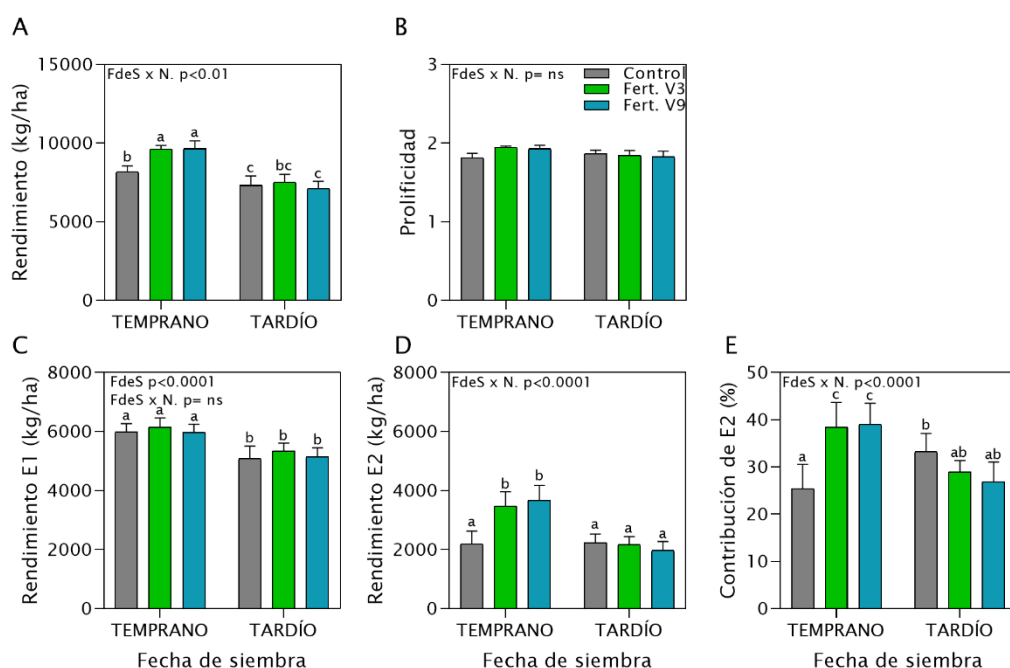


Figura 1: Rendimiento del cultivo (A), prolificidad (B), rendimiento de la espiga apical (C), rendimiento de la espiga sub-apical (D) y contribución de la espiga subapical al rendimiento del cultivo (E) para híbridos de maíz sembrados en fecha temprana o tardía con diferentes niveles de disponibilidad nitrogenada: control (gris, no fertilizado), Fert.V3 (verde, fertilizado con nitrógeno en el estadio V3) y Fert.V9 (azul, fertilizado con nitrógeno en V9). Se indica el valor-p del ANOVA (nivel de significancia $p < 0.05$). Los datos corresponden al promedio de los 4 híbridos.

Todos los híbridos presentaron mayores rendimientos en la siembra temprana respecto de la tardía, aunque la magnitud de esta diferencia fue variable entre materiales (FdeS; $p < 0,0001$; Fig.2A). Los híbridos 3 y 4 alcanzaron los mayores rendimientos bajo siembra temprana, mientras que el híbrido 2 mostró la menor reducción relativa al retrasar la fecha de siembra.

La prolificidad no fue afectada por la interacción FdeS $\times$ H ($p = ns$; Fig.2B), manteniéndose cercana a dos espigas por planta en todos los materiales. Esto confirma que las diferencias observadas en rendimiento entre fechas de siembra e híbridos no estuvieron asociadas a variaciones en el número de espigas por planta.

El rendimiento de E1 presentó una interacción significativa FdeS $\times$ H ($p < 0,01$; Fig.2C). En general, la siembra temprana incrementó el rendimiento de E1 en todos los híbridos, aunque las diferencias entre genotipos fueron relativamente moderadas.

En contraste, el rendimiento de E2 mostró una marcada interacción FdeS $\times$ H ($p < 0,05$; Fig. 2D). Bajo siembra temprana, los híbridos 3 y 4 presentaron los mayores rendimientos de E2, mientras que el híbrido 2 mostró los valores más bajos. En la siembra tardía, el aporte de E2 disminuyó en todos los materiales, aunque la magnitud de la reducción dependió del híbrido.

Como consecuencia, la contribución del rendimiento de la E2 al rendimiento del cultivo también estuvo determinada por la interacción FdeS $\times$ H ($p < 0,01$; Fig.2E). En siembra



temprana, E2 contribuyó con 35 y 45% al rendimiento del cultivo, alcanzando los mayores valores en los híbridos 1 y 4. En cambio, en siembra tardía esta contribución disminuyó hasta aproximadamente 20–30%, independientemente del híbrido evaluado.

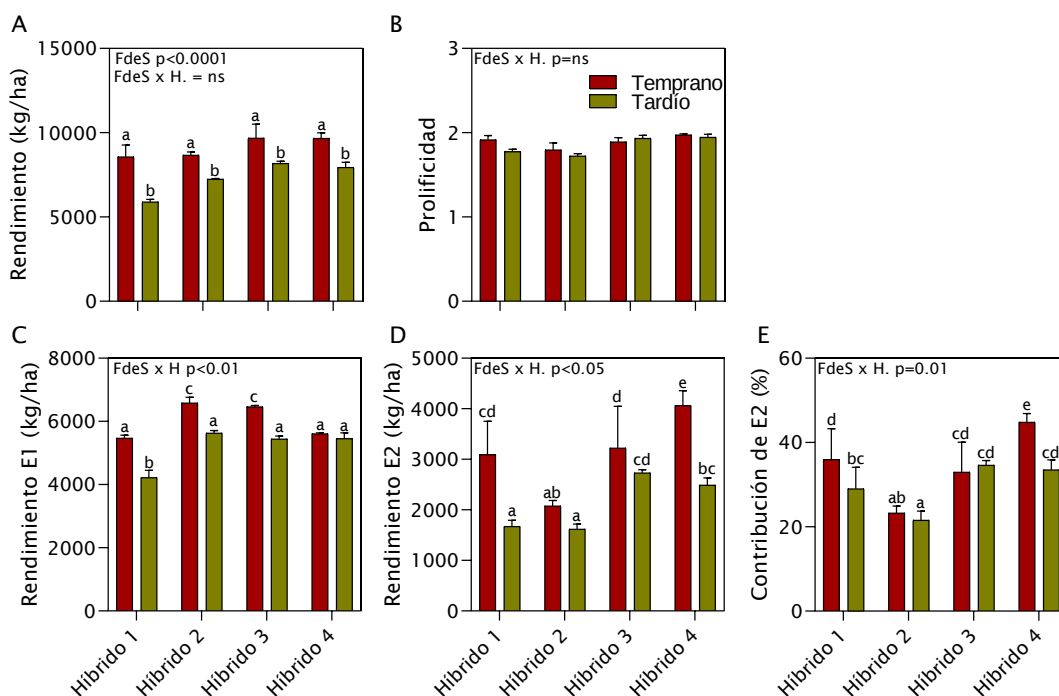


Figura 2: Rendimiento del cultivo (A), prolificidad (B), rendimiento de la espiga apical (C), rendimiento de la espiga sub-apical (D) y contribución de la espiga subapical al rendimiento del cultivo (E) para 4 híbridos de maíz sembrados en fecha temprana (rojo) o tardía (amarillo). Se indica el valor-p del ANOVA (nivel de significancia $p < 0.05$). Los datos corresponden al promedio de los 3 niveles de disponibilidad nitrogenada.

DISCUSIÓN

Los hallazgos de este trabajo indican que la productividad de la espiga sub-apical (E2) constituye el principal componente fisiológico responsable de las diferencias del rendimiento del cultivo observadas entre manejos (fecha de siembra y/o fertilización nitrogenada), mientras que entre genotipos se observaron diferencias en la contribución relativa de las espigas E1 y E2 al rendimiento total.

La mayor oferta de nitrógeno incrementó el rendimiento del cultivo principalmente a través de la producción de E2, sin modificar la prolificidad (Fig. 1) y la producción de la E1. Es decir, el N no promovió la formación de un mayor número de espigas por planta, sino que incrementó la capacidad reproductiva de las espigas secundarias en fijar granos. Posiblemente en la baja densidad analizada las distintas ofertas de N no modificaron las tasas de crecimiento de las plantas (i.e. las tasa permitieron superar el umbral para la expresión de la prolificidad y maximizar la fijación de granos en E1) pero si la eficiencia reproductiva de las segundas espigas (Maltese et al., 2021).

Aunque todos los híbridos presentaron niveles similares de prolificidad, existieron diferencias marcadas en la contribución de E2 al rendimiento del cultivo, particularmente en la siembra temprana (Fig. 2). Esto sugiere que la plasticidad reproductiva no depende únicamente de la emisión de una segunda espiga, sino fundamentalmente de la capacidad de cada genotipo para fijar granos cuando las condiciones ambientales y nutricionales son favorables (Ciancio et al., 2016).

En conjunto, los resultados de este trabajo evidencian que la prolificidad, entendida únicamente como número de espigas por planta, resulta insuficiente para explicar las diferencias de rendimiento de un cultivo en baja densidad ante cambios en el ambiente. Por el contrario, la productividad de E2 emerge como el atributo determinante. Tanto la disponibilidad de nitrógeno como el genotipo modificaron principalmente el rendimiento aportado por la espiga sub-apical, mientras que la espiga apical mostró una respuesta mucho más estable.

CONCLUSIÓN

La productividad de la segunda espiga constituye un rasgo fisiológico clave para el desarrollo de estrategias de manejo y para la selección de híbridos adaptados a sistemas de producción de baja densidad de siembra, más que la prolificidad medida únicamente como número de espigas por planta. En las condiciones evaluadas, la fertilización nitrogenada favoreció la fijación de granos de la segunda espiga en la fecha de siembra temprana, mientras que en la fecha tardía no logró modificar su productividad, lo que contribuyó a limitar la respuesta del rendimiento al nitrógeno.

BIBLIOGRAFÍA

- Ciancio, N.;** Parco, M.; Incógnito, S.J.P.; Maddonni, G.A. (2016). Field Crops Research, 191, 101-110.
- D'Andrea, K. E.,** Otegui, M. E., Cirilo, A. G., & Eyherabide, G. H. (2008). Crop Science, 48, 123-133.
- Echarte, L.,** Andrade, F. H., Vega, C. R. C., & Tollenaar, M. (2004). Crop Science, 44, 1654-1661.
- Lemaire, G., & Ciampitti, I. A.** (2020). European Journal of Agronomy, 113, 125962.
- Maddonni, G. A.** (2012). Theoretical and Applied Climatology, 107, 325-345.
- Maddonni, G. A., & Otegui, M. E.** (2004). Field Crops Research, 85, 1-13.
- Maddonni, G. A.,** Parco, M., & Rotili, D. H. (2021). Agronomía & Ambiente, 41, 2.
- Maltese, N. E.,** Maddonni, G. A., Melchiori, R. J. M., & Caviglia, O. P. (2021). Field Crops Research.
- Otegui, M. E.,** Nicolini, M. G., Ruiz, R. A., & Dodds, P. A. (1995). Agronomy Journal, 87, 29-33.
- Parco, M.,** D'Andrea, K. E., & Maddonni, G. A. (2022). Field Crops Research, 284, 108553.
- Ross, F.,** Di Matteo, J., & Cerrudo, A. (2020). Field Crops Research, 247, 107699.



50 AÑOS
PENSANDO
EL FUTURO

XIII
CONGRESO
NACIONAL
DE MAÍZ

Rotili, D. H., Giorno, A., Tognetti, P. M., & Maddonni, G. A. (2019). Agricultural Water Management, 226, 105761.