



50 AÑOS
PENSANDO
EL FUTURO

XIII
CONGRESO
NACIONAL
DE MAÍZ

PROLIFICIDAD EN MAÍZ (*Zea mays*, L.): EL ROL DE LA ESPIGA SUBAPICAL FRENTE A VARIACIONES EN LA DENSIDAD DE SIEMBRA EN AMBIENTES MARGINALES DE LA REGIÓN PAMPEANA.

Dreccer, F.M.^{1, a}; Espelet, F.^{2, 3}; Maddonni, G.A.^{2, 3, b}.

1 Departamento de Métodos Cuantitativos y Sistema de Información, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Av. San Martín 4453, C1417DSE Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

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

3 Instituto de Fisiología y Ecología Vinculado a la Agricultura, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (IFEVA-CONICET), Av. San Martín 4453, C1417DSE, Ciudad de Buenos Aires, Argentina.

^a fdreccer@agro.uba.ar; ^b maddonni@agro.uba.ar

PROLIFICACY IN MAIZE (*Zea mays*, L.): THE ROLE OF THE SUB-APICAL EAR IN RESPONSE TO PLANT POPULATION DENSITY VARIATIONS IN MARGINAL ENVIRONMENTS OF THE ARGENTINEAN PAMPAS

Abstract: In marginal environments, maize crops face high uncertainty, promoting defensive management practices such as reduced plant densities and the use of prolific hybrids. To understand how this reproductive plasticity contributes to crop yield, the study compared three commercial maize hybrids (prolific, semi-prolific, and non-prolific) across a plant density gradient (1.9 to 8.1 pl m⁻²) in the temperate Argentinean Pampas. Linear mixed models applied to multi-environment trial data (n=552) showed a significant Genotype × Density interaction for prolificacy expression. At low density, the prolific hybrid reached 1.76 ears per main shoot, with a 32.2% average sub-apical ear contribution to crop yield. Under high density, its prolificacy dropped to 1.17 ears per main shoot. Conversely, the non-prolific hybrid stabilized at 1.09 ears per main shoot at high density, with 80.6% of cases showing no sub-apical yield contribution to crop yield. The semi-prolific hybrid showed transitional responses, significantly reducing its prolificacy across densities. Crop response to sowing density depends on environmental productivity. In low-potential environments (< 7224 kg ha⁻¹), hybrids showed similar density-stress tolerance, and yields did not change with higher densities, optimizing performance at the lowest density. Conversely, in high-potential environments (> 7224 kg ha⁻¹), low density led to significant yield losses; the contribution of subapical ears (ca. 33% in the prolific hybrid) was insufficient to compensate for a 50% reduction in plant stand, with yields maximizing at medium densities. These findings support using low plant densities as a defensive strategy in low-potential environments, while revealing no advantages of prolificacy in stabilizing yields under a 50% plant stand reduction.

Palabras clave: maíz, plasticidad reproductiva, densidad de siembra, espiga subapical, rendimiento.

Keywords: maize, reproductive plasticity, plant density, sub-apical ear, yield.





50 AÑOS
PENSANDO
EL FUTURO

XIII
CONGRESO
NACIONAL
DE MAÍZ

Introducción:

La producción nacional de maíz en Argentina experimentó un fuerte crecimiento durante los últimos 20 años (ca. De 20 a 60 millones de toneladas), impulsado por la expansión del área cultivada por fuera de la zona núcleo maicera (Otegui et al., 2021). La superficie de maíz pasó de 2,9 millones de hectáreas a 8,7 millones de hectáreas, mientras que el rendimiento medio se mantuvo estable, con variaciones asociadas principalmente a las particularidades climáticas de cada campaña (FAO, 2026). Las regiones incorporadas a la producción de maíz pueden presentar severas restricciones climáticas y edafológicas en comparación con la zona de producción tradicional (zona núcleo; Maddonni et al., 2021). Por ejemplo, para el sudoeste y sudeste de Buenos Aires, los suelos con escasa profundidad efectiva por la presencia de horizontes petrocálcicos, así como el bajo régimen pluviométrico en la estación de crecimiento del cultivo y/o su alta variabilidad interanual, modulan la oferta hídrica durante la estación de crecimiento del cultivo (Rotili et al., 2019). Estas condiciones ambientales determinan variaciones interanuales y espaciales en los rendimientos cosechados (<https://yieldgap.com/atlas/>). En consecuencia, en estos ambientes se han adoptado manejos defensivos, como el retraso de la fecha de siembra, y la reducción de la densidad de plantas. Este manejo tecnológico ha permitido con éxito mejorar la economía del agua, disminuyendo el consumo en etapas tempranas para diferirlo hacia las etapas reproductivas, incrementando la transpiración por planta y posibilitando la expresión de los mecanismos de plasticidad reproductiva como la prolificidad (i.e. más de una espiga en el mismo vástago) (Rotili et al., 2019; Maddonni et al., 2021).

Existen diferencias genotípicas en la capacidad de fijar granos en más de una espiga por vástago (fenotipos prolíficos). La expresión de este mecanismo de plasticidad reproductiva podría contribuir al rendimiento del cultivo en bajas densidades de siembra y estabilizar el rendimiento ante variaciones en la densidad (Parco et al., 2020; Ross et al., 2020). Si bien estudios recientes han evaluado la interacción entre la densidad de plantas e híbridos contrastantes en lo que respecta a los mecanismos de plasticidad reproductiva, dichas investigaciones abarcan un número limitado de sitios experimentales (Solomon et al., 2017; Ross et al., 2020; Veenstra et al., 2021; Massigoge et al., 2022) o se han enfocado en regiones con potenciales de rendimiento mayores a los 9000 kg ha⁻¹ (Martínez et al., 2026). Sin embargo, aún existen vacíos al conocimiento en lo que respecta al comportamiento de este carácter en ambientes de producción variables. El objetivo de este trabajo fue i) comparar la expresión de la plasticidad en tres híbridos comerciales de maíz cultivados en tres niveles de densidad de siembra en ambientes marginales de la región templada de maíz, ii) cuantificar la contribución de la espiga subapical al rendimiento del cultivo y iii) establecer para cada híbrido la estabilidad del rendimiento a los cambios en la densidad de siembra.

Materiales y métodos:

Se utilizó información generada por el Grupo de Estudio y Trabajo “Red de Ultra Baja Densidad de Maíz” (<https://www.agro.uba.ar/GET/reduba-demaiz/>), cuyo objetivo final es generar información sobre el manejo más adecuado del cultivo en diversos





50 AÑOS
PENSANDO
EL FUTURO

XIII
CONGRESO
NACIONAL
DE MAÍZ

ambientes considerados marginales. Se seleccionaron 38 experimentos a campo conducidos a lo largo de 6 campañas agrícolas (desde la campaña 2019/20 hasta la 2024/25). La red experimental abarcó una gran amplitud edafoclimática a lo largo de las provincias de Buenos Aires y La Pampa (Argentina). Geográficamente, los sitios de ensayo se distribuyeron en un rango de latitudes comprendido entre los 34.34° S y 37.89° S y longitudes desde los 58.04° O hasta los 64.81° O (Figura 1). Las fechas de siembra se extendieron desde mediados de septiembre hasta mediados de diciembre. Sin embargo, la mayor parte de los experimentos exploraron fechas de siembra tardías, manejo representativo de la estrategia defensiva.

Se seleccionaron tres híbridos comerciales con diferentes comportamientos a priori de plasticidad reproductiva: el DK 7220 (prolífico), el AX 7921 (semi-prolífico) y el Next 22.6 (no prolífico). Estos híbridos fueron sometidos a un gradiente de densidades de siembra que abarcó desde 1,9 hasta 8,1 pl m⁻².

En madurez, se cuantificó el rendimiento de las espigas de diferente orden (apical y sub-apicales) así como el número de espigas correspondiente a cada vástago. De esta forma, se categorizó a cada híbrido en distintos niveles de prolificidad mediante el número de espigas por vástago principal en función de tres terciles de densidades explorados: i) 1,9-3,5 pl m⁻², ii) 3,5-6,1 pl m⁻² y iii) 6,1-8,1 pl m⁻². Con estas variables, se calculó el aporte relativo de espigas subapicales (segunda y tercera del vástago principal si existiese) mediante el cociente entre el rendimiento de estas espigas y el rendimiento total del cultivo.

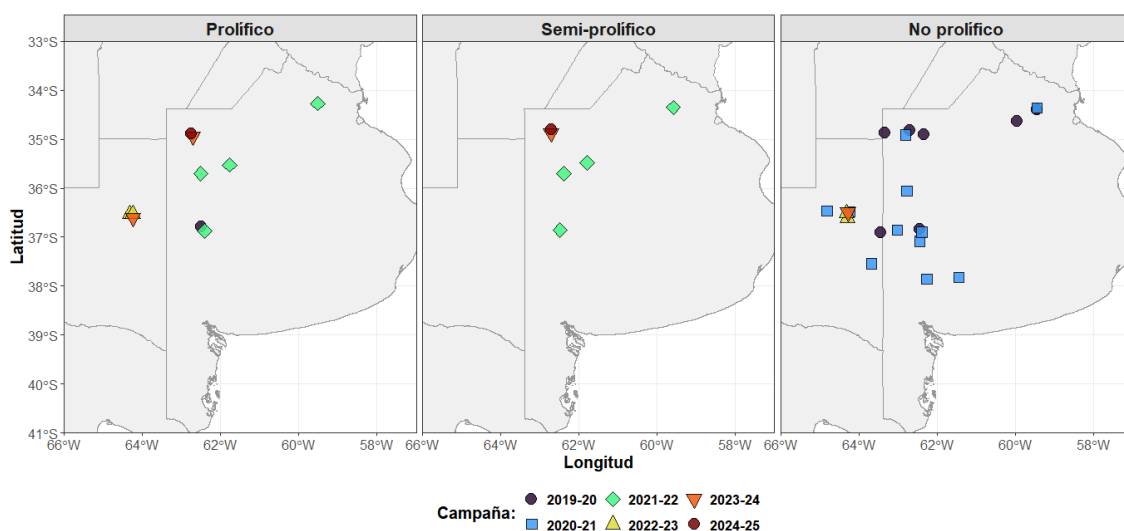


Figura 1. Distribución geográfica de la red de ensayos a campo en la región pampeana de Argentina. Los sitios experimentales se presentan desagregados en paneles según los híbridos evaluados: prolífico (DK 7220, semi-prolífico (AX 7921) y no prolífico (Next 22.6). Cada marcador indica la ubicación de un ensayo, mientras que su color y forma diferencian las múltiples campañas agrícolas analizadas.

El análisis de la prolificidad y del rendimiento se realizó mediante modelos lineales mixtos utilizando el paquete *nlme* (Pinheiro et al., 2023) en R (R Core Team, 2023). Para el análisis de prolificidad, el genotipo, la densidad de siembra y su interacción fueron modelados como efectos fijos, mientras que los bloques anidados dentro de cada experimento se incluyeron como efectos aleatorios. Para el análisis del



50 AÑOS
PENSANDO
EL FUTURO

XIII
CONGRESO
NACIONAL
DE MAÍZ

rendimiento, el modelo incorporó como efectos fijos al genotipo, a la densidad de siembra y al nivel ambiental, así como a todas sus interacciones dobles y la interacción genotipo X densidad X ambiente, manteniendo la misma estructura de efectos aleatorios. Dada la heterogeneidad de varianzas, se modeló la heterocedasticidad de los datos ajustando varianzas independientes por tercil de densidad mediante la función *varIdent* (Zuur et al., 2009). El cálculo de las medias marginales estimadas y sus correspondientes comparaciones múltiples mediante la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) se realizaron utilizando el paquete emmeans (Lenth, 2023). Además, la bondad de ajuste de los modelos se determinó a través del R^2 (Nakagawa y Schielzeth, 2013).

Resultados:

El análisis de la prolificidad ($R^2 = 0,557$) determinó efectos significativos de los factores principales genotipo y densidad de plantas, así como de la interacción entre ambos factores ($p < 0.0001$ en todos los casos; Figura 2). En el tercil de baja densidad, el híbrido prolífico alcanzó la mayor cantidad de espigas en el vástago principal con una media marginal estimada de 1,76 espigas vástago principal⁻¹ (IC 0,95: 1,67 – 1,84), difiriendo de los otros híbridos, los cuales registraron valores de 1,37 y 1,34 espigas vástago principal⁻¹, respectivamente. En densidad media, se registraron reducciones significativas en el número de espigas vástago principal⁻¹ en todos los híbridos evaluados. En densidad alta, el híbrido prolífico presentó una media marginal de 1,17 espigas vástago principal⁻¹, el híbrido semi-prolífico 0,88 espigas vástago principal⁻¹ y el no prolífico 1,09 espigas vástago principal⁻¹.

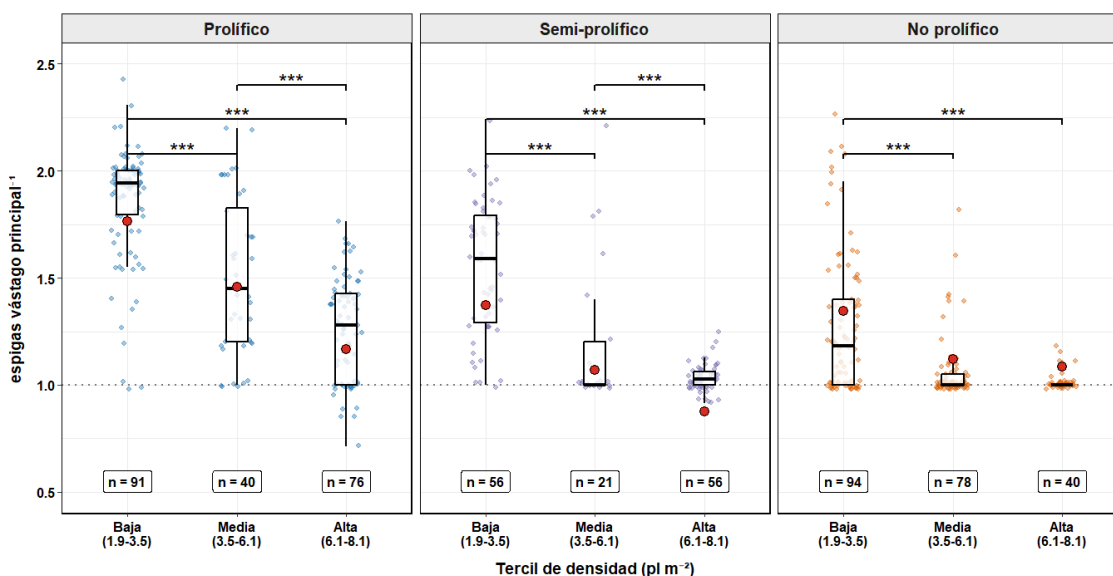


Figura 2. Prolificidad (espigas vástago principal⁻¹) para los híbridos prolífico, semi-prolífico y no prolífico en función de los tres terciles de densidad. Las llaves indican diferencias estadísticamente significativas entre terciles de densidad dentro de cada híbrido (***) $p < 0,001$. La ausencia de llaves indica que no se detectaron diferencias significativas. Cada punto rojo indica la media marginal estimada.

Con respecto al aporte de la espiga subapical al rendimiento del cultivo (Figura 3), en baja densidad, en el genotipo prolífico fue cercano a un 32,2% (percentil 0,50) con techos de hasta 43,7% en el percentil 0,90, registrando aportes nulos en un 1,1%



50 AÑOS
PENSANDO
EL FUTURO

XIII
CONGRESO
NACIONAL
DE MAÍZ

de los casos. En las mismas condiciones, para el híbrido semi-prolífico el aporte medio fue de 18,4%, mientras que para el fenotipo no prolífico apenas un 8,6% y presentó un 32,3% de casos donde el aporte fue nulo.

En alta densidad, el híbrido prolífico mantuvo un aporte medio del rendimiento de las subapicales al rendimiento del cultivo del 10,3% (mediana del 10,0%) con aportes nulos en 21,6% de los casos. Por otro lado, en el híbrido no prolífico en alta densidad la mediana fue 0,0%, y en un 80,6% de los casos no hubo aporte al rendimiento. El híbrido semi-prolífico mostró un comportamiento de transición, reduciendo su aporte medio a 1,5% en alta densidad y superando el 41% de casos sin aporte.

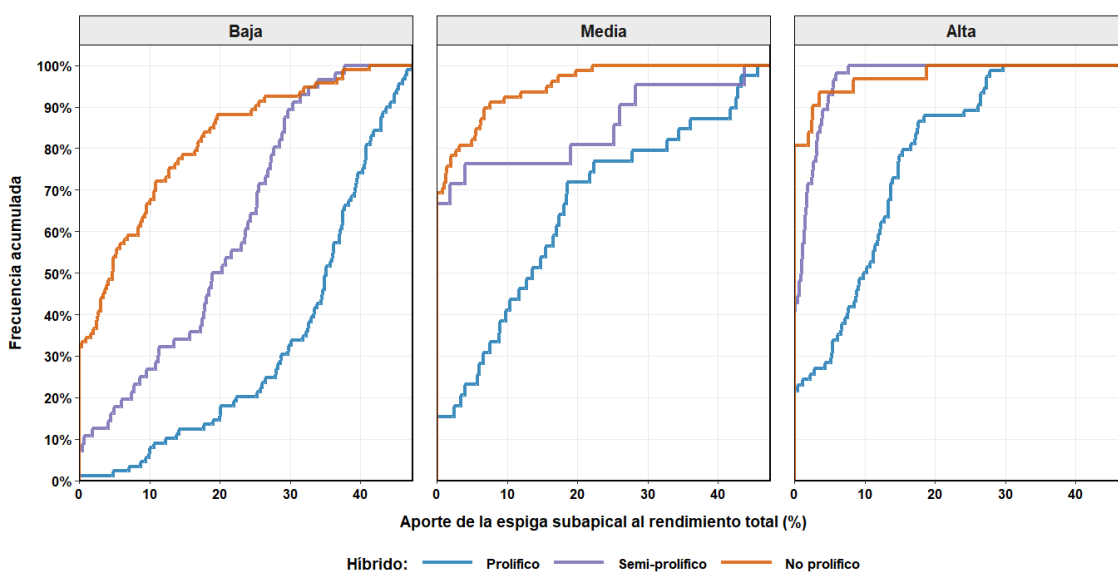


Figura 3. Frecuencia acumulada del aporte relativo de la espiga subapical al rendimiento total para cada uno de los 3 híbridos bajo tres rangos de densidad. En color azul se puede observar la curva correspondiente al fenotipo prolífico, en violeta al semi-prolífico y en naranja al no prolífico.

El análisis del rendimiento ($R^2 = 0,72$) determinó efectos significativos de los factores principales genotipo, densidad de plantas y ambiente ($p < 0,0001$ en todos los casos), así como una interacción significativa entre dichos factores ($p = 0,0430$; Figura 4). En los ambientes de menor potencial ($< 7224 \text{ kg ha}^{-1}$), no se detectaron diferencias significativas en el rendimiento entre los terciles de densidad para ninguno de los híbridos evaluados. Por el contrario, en los ambientes de mayor potencial ($> 7224 \text{ kg ha}^{-1}$), el rendimiento absoluto de los híbridos prolífico y no prolífico se maximizaron a partir del tercil de densidad media (medias marginales de 10.987 y 9.260 kg ha^{-1} , respectivamente), sin presentar diferencias con los valores observados en alta densidad. El híbrido semi-prolífico, alcanzó también su máximo rendimiento en la densidad media (media marginal de $11.670 \text{ kg ha}^{-1}$) pero con reducciones significativas hacia el tercil de alta densidad (9.162 kg ha^{-1}). Finalmente, la reducción de plantas a baja densidad provocó en todos los híbridos caídas de rendimiento significativas ($p < 0.05$), mostrando medias marginales de 8.478 kg ha^{-1} en el híbrido prolífico, 7.966 kg ha^{-1} en el semi-prolífico y 7.968 kg ha^{-1} en el no prolífico.



50 AÑOS
PENSANDO
EL FUTURO

XIII
CONGRESO
NACIONAL
DE MAÍZ

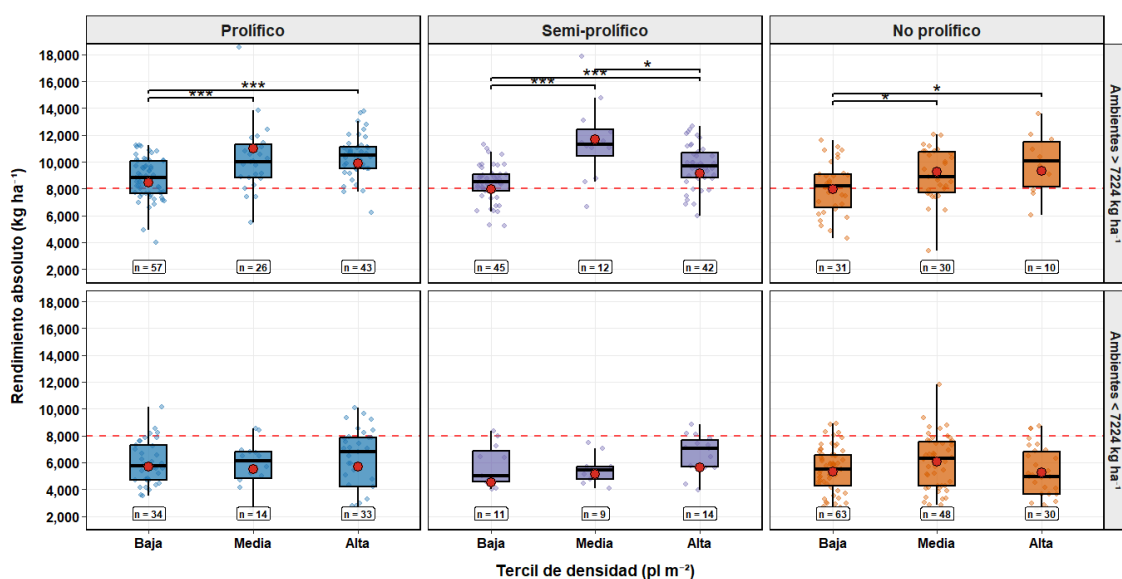


Figura 4. Rendimiento (kg ha^{-1}) en los tres híbridos evaluados (Prolífico, Semi-prolífico y No prolífico) en función de los terciles de densidad de siembra (Baja: 1,9-3,5 pl m^{-2} , Media: 3,5-6,1 pl m^{-2} , Alta: 6,1-8,1 pl m^{-2}). El gráfico se presenta dividido en paneles según el nivel ambiental (Ambientes $> 7.224 \text{ kg ha}^{-1}$ y Ambientes $< 7.224 \text{ kg ha}^{-1}$). La línea roja horizontal punteada señala los 8.000 kg ha^{-1} para favorecer la observación de las diferencias entre niveles de ambiente y densidades. Las llaves y asteriscos denotan diferencias estadísticamente significativas (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$). La ausencia de llaves indica que no se detectaron diferencias significativas. Cada punto rojo indica la media marginal estimada.

Discusión

Los resultados de este trabajo cuantifican la contribución de la prolificidad al rendimiento del cultivo y su respuesta a la densidad en ambientes marginales a partir de una red experimental (38 experimentos) a lo largo de 6 campañas agrícolas en ambientes marginales de la región pampeana. El análisis de los diferentes híbridos evidenció que el híbrido prolífico demostró una notable plasticidad reproductiva, logrando sostener su prolificidad por encima de 1 espiga vástago principal $^{-1}$ aún en niveles de alta densidad (6,1-8,1 pl m^{-2}). Este comportamiento se asocia a la característica intrínseca de los híbridos prolíficos de poseer un bajo umbral de tasa de crecimiento por planta durante el período crítico, a partir del cual se fijan granos en la espiga subapical (Ciancio et al., 2016; Ross et al., 2020; D'Andrea et al., 2022). Por el contrario, el híbrido no prolífico solo evidenció prolificidad mayor a 1 en la densidad más baja y con un nivel menor de expresión que los otros híbridos, y manifestó prolificidad igual a 1 en densidades intermedias y altas. Entre ambos extremos, el híbrido semi-prolífico mostró una respuesta de transición. Los híbridos no prolíficos presentan una fuerte dominancia de la espiga apical por sobre la subapical que omite su expresión (Ciancio et al., 2016), incluso en condiciones de competencia media. Sin embargo, la baja expresión de la prolificidad no es un rasgo que penalice el rendimiento en ambientes de alta potencialidad. En esos ambientes, se utilizan altas densidades e híbridos que componen el rendimiento a través de una única espiga por planta (Di Matteo et al., 2016).

A escala de cultivo, el aporte de la espiga subapical al rendimiento total ahonda aún más las diferencias en la expresión de la prolificidad a través de las densidades.



50 AÑOS
PENSANDO
EL FUTURO

XIII
CONGRESO
NACIONAL
DE MAÍZ

Mientras que en el prolífico la segunda espiga contribuyó de manera significativa y sostenida al rendimiento en las distintas densidades, el no prolífico registró un bajo aporte en bajas densidades y casi nulo en densidades medias y altas. Nuevamente, el híbrido semi-prolífico se ubicó en el medio de ambas estrategias, confirmando su comportamiento transicional entre ambos mecanismos. Este estudio demuestra que la espiga subapical es un componente fundamental en la formación del rendimiento en manejos defensivos donde se utilizan bajas y medias densidades con híbridos prolíficos.

Finalmente, el análisis del rendimiento evidenció que la respuesta del cultivo a la densidad de siembra depende del potencial productivo del ambiente. En ambientes de bajo potencial, ninguno de los híbridos evaluados presentó cambios en el rendimiento ante incrementos en la densidad de siembra, revelando una similar tolerancia al estrés por densidad (Hernández et al., 2014) y optimizando su rendimiento en la densidad más baja. Por el contrario, en ambientes de mayor potencial, el híbrido prolífico cultivado a baja densidad no logró alcanzar una prolificidad de 2 espigas vástago principal¹. Al registrar una contribución promedio de las espigas sub-apicales de un 32,3% al rendimiento del cultivo, este aporte no logró compensar la reducción en el cantidad de plantas (ca. 50%), provocando mermas significativas en el rendimiento final. En estas condiciones, el rendimiento se maximizó con densidades medias. Estos resultados afianzan el uso de bajas densidades en ambientes de bajo potencial como estrategia defensiva (Maddonni et al., 2021; Rotili et al., 2019) sin detectar ventajas de la prolificidad en la estabilización del rendimiento ante reducciones del 50% en el stand de plantas. Posiblemente, ante reducciones de menor magnitud, el rendimiento de las espigas sub-apicales de los híbridos prolíficos atenúen el efecto de la reducción en el stand de plantas.

Bibliografía:

- 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.
- D'Andrea K.E.; Parco M.; Maddonni G.A. 2022. Maize prolificacy under contrasting plant densities and N supplies: II. Growth per plant, biomass partitioning to apical and sub-apical ears during the critical period and kernel setting. *Field Crops Research*, 284, 108557.
- Di Matteo J.A.; Ferreyra J.M.; Cerrudo A.A.; Echarte L.; Andrade F.H. 2016. Yield potential and yield stability of Argentine maize hybrids over 45 years of breeding. *Field Crops Research*, 197, 107-116.
- Espelet F.; Rotili D.H.; D'Andrea K.E.; Maddonni G.A. 2026. Carbon economy in maize phenotypes with different vegetative-reproductive plasticity mechanisms. *Field Crops Research*, 335, 110173.
- FAO. 2026. FAOSTAT: Cultivos y productos de ganadería. Consultado el 3 de julio de 2026. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL> Licencia: CC-BY-4.0
- Hernández, F.; Amelong, A.; Borrás, L. 2014. Genotypic differences among argentinean maize hybrids in yield response to stand density. <https://doi.org/10.2134/agronj14.0183>.
- Lenth R.V. 2023. emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. R package. URL <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>
- Lingua L.N.; Carcedo A.J.P.; Giménez V.D.; Maddonni G.A.; Ciampitti I.A. 2024. Environmental characterization for rainfed maize production in the US Great Plains region. *Agricultural and Forest Meteorology*, 359, 110286.





50 AÑOS
PENSANDO
EL FUTURO

XIII
CONGRESO
NACIONAL
DE MAÍZ

- Maddonni G.A.; Parco M.; Rotili D.H. 2021. Manejo de la estructura del cultivo de maíz en ambientes marginales de la Argentina. *Agronomía y Ambiente*, 41, 84-99.
- Martínez R.D. et al. 2026. Maximizing maize grain yield stability through integrated management of plant density and hybrid reproductive plasticity. *Field Crops Research*, 335, 110199.
- 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.
- Nakagawa S.; Schielzeth H. 2013. A general and simple method for obtaining R^2 from generalized linear mixed-effects models. *Methods in Ecology and Evolution*, 4(2), 133-142.
- Otegui, M. E., Riglos, M., & Mercau, J. L. (2021). Genetically modified maize hybrids and delayed sowing reduced drought effects across a rainfall gradient in temperate Argentina. *Journal of Experimental Botany*, 72(14), 5180-5188.
- Parco M.; D'Andrea K.E.; Maddonni G.A. 2022. Maize prolificacy under contrasting plant densities and N supplies: I. Plant growth, biomass allocation and development of apical and sub-apical ears from floral induction to silking. *Field Crops Research*, 284, 108553.
- Pinheiro J.; Bates D.; DebRoy S.; Sarkar D.; R Core Team. 2023. nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package.
- R Core Team. 2023. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- 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.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.
- Solomon, K. F., Chauhan, Y., & Zeppa, A. (2017). Risks of yield loss due to variation in optimum density for different maize genotypes under variable environmental conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 203(6), 519-527.
- Tokatlidis I.S.; Has V.; Melidis V.; Has I.; Mylonas I.; Evgenidis G.; Copandean A.; Ninou E.; Fasoula V.A. 2011. Maize hybrids less dependent on high plant densities improve resource-use efficiency in rainfed and irrigated conditions. *Field Crops Research*, 120(3), 345-351.
- 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.
- Zuur A.F.; Ieno E.N.; Walker N.; Saveliev A.A.; Smith G.M. 2009. Mixed effects models and extensions in ecology with R. Springer Science & Business Media.

