

Densidad y mecanismos de plasticidad para el maíz en escenarios climáticos inciertos

Maltese N.E.^{1,2,3}, Michelin C.I.^{2,3}, Melchiori R.J.M.¹

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)

¹Estación Experimental Agropecuaria Paraná

¹Departamento de Producción

²CONICET

³FCA – UNER

El ciclo agrícola 2021/2022 de maíz temprano en la provincia de Entre Ríos, presentó un caso típico de elevadas temperaturas y déficit hídrico alrededor de floración.

La combinación de prácticas de manejo, como la elección de híbridos con diferentes mecanismos de plasticidad reproductiva, junto con ajustes de la densidad de plantas, permitiría mitigar reducciones en el rendimiento bajo escenarios de alto riesgo climático.

Estrategia de escape: Ajustes en la fecha de siembra como manejo defensivo

En esquemas de producción agrícola de secano y, frente a escenarios climáticos inciertos y de alto riesgo, en gran parte de la región Pampeana Argentina, la ventana de siembra del maíz se ha extendido hacia fechas más tardías (mediados de diciembre), con el objetivo de estabilizar la variabilidad interanual de los rendimientos (Mercau y Otegui, 2014). Esta estrategia de manejo, ubica el periodo más crítico de floración en condiciones de balance hídrico más favorable (Maddonni, 2012). Actualmente, el maíz tardío y/o de segunda, representa un 50 % de la superficie total sembrada a nivel nacional (BCBA, 2021). Sin embargo, a nivel provincial, por diversas causas relacionadas al manejo agronómico del cultivo, la coyuntura económica y la calidad de los granos con destino a la producción pecuaria, se ha limitado su expansión y así Entre Ríos cuenta actualmente solo con un 7 % de la superficie con maíz tardío (BCER, 2021).

En este contexto, la mayor proporción del área de maíz de nuestra región se siembra ante escenarios de mayor incertidumbre climática y de alto riesgo productivo, por lo cual resulta necesario evaluar esquemas de manejo agronómico que permitan estabilizar el rendimiento.

Estrategias de tolerancia: Elección del híbrido y la densidad de plantas

La elección del híbrido a utilizar y la densidad de siembra objetivo son decisiones que se toman previo o al comienzo del ciclo agrícola. Independientemente de los escenarios climáticos a corto y mediano plazo, y debido a que *a priori* los ambientes en nuestra región presentan frecuentemente importante variabilidad (combinación de suelos con alto contenido de arcillas y elevado nivel de erosión, alta variabilidad interanual en las lluvias y esquemas productivos con bajo uso de insumos) y al alto costo de la semilla, comúnmente se tiende a la baja en la densidad de plantas objetivo (<60000 pl ha⁻¹). Bajo estos esquemas de producción con baja densidad y ambientes de alta variabilidad, cobran relevancia los híbridos que combinan plasticidad vegetativa (Macolladores) y reproductiva (híbridos con espiga flexible y/o que presentan más de una espiga fértil por planta, híbridos denominados Flex y Prolíficos, respectivamente). Los mecanismos mencionados se expresan en condiciones de siembras con baja densidad y ante situaciones de una mayor oferta de recursos por planta. Así, en años con déficit hídrico, este tipo de manejo permitiría establecer “pisos” de rendimiento más altos y en años con adecuada disponibilidad hídrica, capturar la mejora en la oferta ambiental mediante la compensación parcial del rendimiento a través del aumento en el número de espigas a cosecha por alguno de los mecanismos descriptos (Ciancio *et al.*, 2016; Rotili *et al.*, 2021; Ross *et al.*, 2020; Maltese *et al.*, 2021).

El rol del N en la expresión de los mecanismos de plasticidad

Luego de la condición hídrica del cultivo, el nitrógeno (N) es uno de los factores que en mayor medida limita el rendimiento de maíz en nuestra región. La fertilización del cultivo comúnmente se realiza al momento de la siembra o en etapas tempranas (alrededor de tres a seis hojas; V3-V6). En este sentido, trabajos recientes de Parco *et al.* (2020; 2022) y Maltese *et al.* (2021) han reportado la importancia de la disponibilidad de N en la expresión de la prolificidad (más de una espiga por planta), sugiriendo efectos también sobre otros mecanismos tales como el macollaje y el incremento en el tamaño de espigas flexibles (Flex). Sin embargo, aun surgen interrogantes respecto al momento de aplicación del fertilizante nitrogenado y su efecto sobre los mecanismos de plasticidad, los que se expresan en momentos diferentes durante el ciclo de cultivo. Mientras el macollaje se origina en etapas tempranas (V3-V7) y se establece alrededor de V7-V14, la fijación de granos en espigas ocurre en momentos más avanzados (alrededor de floración) (Rotili *et al.*, 2021). En el caso de la prolificidad, se ha encontrado que su determinación ocurre alrededor de V6-V7 (Parco *et al.*, 2022). Por lo tanto, aplicaciones tempranas de N (V-V1) podrían favorecer la contribución de espigas de macollos, mientras que las aplicaciones postergadas (V10) tendrían un efecto positivo sobre la contribución de espigas secundarias al rendimiento total. Además, es importante considerar que la práctica de fraccionamiento de la dosis con N, es una herramienta que permite diferir riesgos.

Un mayor conocimiento de la condición climática actual al momento de decidir la dosis de N objetivo en la aplicación postergada, la mejor sincronía entre la oferta de N y la demanda del cultivo, impacta positivamente sobre la eficiencia de uso del N. En consecuencia, resulta relevante evaluar los efectos de ésta práctica sobre el rendimiento del cultivo en híbridos plásticos y densidades de plantas contrastantes.

Descripción de experimentos

Dos experimentos (Exp1 y Exp2) fueron llevados a cabo en el INTA EEA Paraná (31°44'S 60°32'O) durante el ciclo agrícola 2021/2022. El suelo corresponde a la Asociación Oro Verde, conformada principalmente por las series Oro Verde (*Argiudol acuico*) y La Jaula (*Argiudol vértico*) (<http://visor.geointa.inta.gob.ar/>). El diseño de los Experimentos fue en bloques completos al azar con 2 repeticiones. La unidad experimental fue de 5 surcos (0,52 m) x 6 m de largo (15,6 m²). El Exp1 fue un diseño factorial de dos densidades de siembra (3,6 pl m⁻² y 7,3 pl m⁻²), combinado con dos niveles de fertilización con N (0 y 90 kg N ha⁻¹) y cuatro híbridos de maíz con plasticidad vegetativa y/o reproductiva diferentes (Tabla 1). En el Exp2 se evaluaron solo los híbridos AX7784 y DK69-10 en los mismos niveles de densidad de siembra que en el Exp1, pero se combinaron con diferentes momentos de fertilización con N (V1 y V10) con una dosis única de 90 kg N ha⁻¹.

Los Experimentos fueron sembrados el 21/09/2021 con una máquina neumática. La fuente nitrogenada utilizada fue urea protegida (46-0-0) y la aplicación se realizó al voleo en cobertura. La fertilización con P se realizó a la siembra, incorporando en la línea una dosis de 80 kg ha⁻¹ de fosfato monoamónico (11-52-0).

La cosecha se realizó en forma manual por estratos, es decir, diferenciando espigas primarias, secundarias y de macollos, sobre 5 m en los dos surcos centrales de cada parcela. Además, se tomaron registros del número de plantas, espigas primarias, secundarias y de macollos por unidad de superficie. El rendimiento fue ajustado a humedad comercial (14,5 %) y se determinaron sus componentes (peso de mil granos y número de granos por unidad de área).

Tabla 1. Híbridos utilizados y sus características de plasticidad vegetativa y/o reproductiva.

Híbrido	Características de plasticidad
AX7784 (Nidera)	No prolífico y con macollos fértiles.
DK69-10VT3P (Dekalb)	Prolífico y sin macollos.
DM2738 (Don Mario)	Prolífico y con macollos fértiles.
Next 22.6 (Brevant)	Flexibilidad de espiga, prolificidad baja y sin macollos.

Condiciones meteorológicas y del sitio durante el ciclo agrícola 2021/2022

Las lluvias (LI) y la evapotranspiración de referencia (ET0) registradas alrededor de la siembra y en los primeros estadios del cultivo fueron normales, lo que permitió una correcta implantación y establecimiento del número de plantas, favorecido por una temperatura (T) media mayor a la histórica (Tabla 2). El periodo vegetativo del cultivo transcurrió bajo condiciones hídricas adecuadas, sin embargo, el déficit de LI durante el mes de diciembre, coincidente con el momento durante el cual transcurrió el periodo crítico para determinación de rendimiento, afectó de manera marcada el estado del cultivo (Tabla 2). Además, las temperaturas diarias máximas registradas durante la última semana de diciembre 2021 y la segunda de enero de 2022, superaron los 33 °C, el umbral considerado máximo para el crecimiento y desarrollo del cultivo (Warrington y Kanemasu, 1983; Ellis *et al.*, 1992), generando condiciones de estrés térmico que magnificaron el impacto del déficit hídrico (Maltese *et al.*, 2022).

Tabla 2. Valores de lluvias (LI) y evapotranspiración de referencia (ET0) mensuales acumuladas y temperatura (T) media mensual registradas durante el ciclo del cultivo para el ciclo agrícola 2021/2022 e históricas. Fuente: Observatorio Agrometeorológico de la EEA INTA Paraná.

Mes	LI	LI histórica (mm)	ET0	ET0 histórica	T media	T media histórica (°C)
Septiembre	54	54	94	98	17,3	15,3
Octubre	53	106	153	132	19,4	18,2
Noviembre	121	111	167	157	22,4	20,9
Diciembre	49	117	209	180	26,3	23,5
Enero	137	116	194	180	27,0	24,9
Febrero	66	110	162	139	24,2	23,8

Los resultados obtenidos del análisis químico del suelo (Tabla 3), realizados previo a la fertilización, mostraron valores adecuados pero variables de fósforo (P) y bajos niveles de N-nitratos (N-NO₃).

Tabla 3. Resultados del análisis químico de suelo realizado al momento de la siembra.

Variable	Media	Desvío estándar
P-Bray (ppm)	24,9	10,0
N-NO ₃ (kg ha ⁻¹) (0-60 cm)	36,7	2,9

Densidad de plantas y su efecto sobre la expresión de caracteres de plasticidad vegetativa y/o reproductiva

El número de espigas y/o macollos por planta se redujo en función del aumento en la densidad de plantas lograda a cosecha para los cuatro híbridos evaluados (Fig.1). En bajas densidades se observaron más de una espiga por planta, particularmente en los híbridos prolíficos (DM2738 y DK69-10). Además, a bajas densidades, hubo mayor expresión de macollos, en primer lugar, AX7784, seguido de DM2738 y Next 22.6. Por el contrario, a medida que la densidad se fue incrementando, tanto la prolificidad como el macollaje fueron disminuyendo, excepto en AX7784 que aún en altas densidades presentó macollos. Sin embargo, resulta importante destacar que la presencia de macollos no indica que los mismos hayan presentado espigas fértiles que aporten al rendimiento.

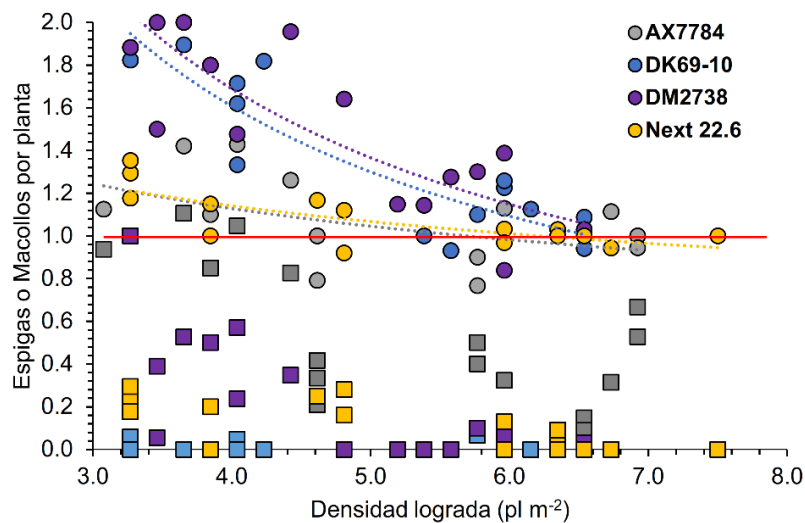


Fig. 1. Número de espigas (círculos) y macollos (cuadrados) observados para los híbridos evaluados en función de la densidad lograda a cosecha para la condición con fertilización (90N). La línea roja horizontal representa una espiga por planta.

Rendimiento en combinaciones de Híbrido x Densidad de plantas x N (Exp1)

El rendimiento promedio considerando todos los tratamientos evaluados fue de 5387 kg ha⁻¹. Teniendo en cuenta las variables híbrido, densidad y dosis de N, se observó una interacción estadísticamente significativa ($p < 0,01$) entre las fuentes de variación. Independientemente de la densidad de plantas, en la condición sin fertilización (0N), el rendimiento de los híbridos fue similar (Fig. 2a). Sin embargo, bajo condiciones de fertilización (90N), se detectaron diferencias de rendimiento entre los híbridos en ambas densidades de plantas. En bajas densidades (3,6 pl m⁻²), los híbridos prolíficos (DK69-10 y DM2738) tuvieron mayor rendimiento respecto a los híbridos macollador (AX7784) y flex (Next 22.6). En altas densidades (7,3 pl m⁻²), Next 22.6 tuvo rendimientos superiores al resto de los híbridos evaluados (Fig. 2b). En promedio, asociado a las condiciones climáticas limitantes, el incremento en la densidad de plantas condujo a reducciones en rendimiento de 11 y 14 % en los tratamientos de 0N y 90N, respectivamente.

Por otra parte, independientemente de la densidad de plantas, la baja contribución al rendimiento de espigas secundarias y de macollos bajo condiciones sin fertilización (0N) no permitió alcanzar diferencias de rendimiento entre los materiales evaluados (Fig. 2a). Sin embargo, en bajas densidades y condiciones de fertilización con N, las espigas secundarias presentaron aportes al rendimiento del 32 y 29 % en DK69-10 y DM2738, respectivamente, mientras que la contribución con espigas de macollos en DM2738 fue solo de un 10 %. En altas densidades, el aporte de espigas secundarias fue menor y la mayor contribución estuvo dada por DM2738 (12 %).

En bajas densidades, los híbridos prolíficos alcanzaron mayor rendimiento comparado con el macollador y el flex, lo cual sugeriría a este mecanismo como el más promisorio en el diseño de esquemas de maíz que se orienten a la estabilización de los rendimientos ante escenarios de incertidumbre climática por estrés hídrico.

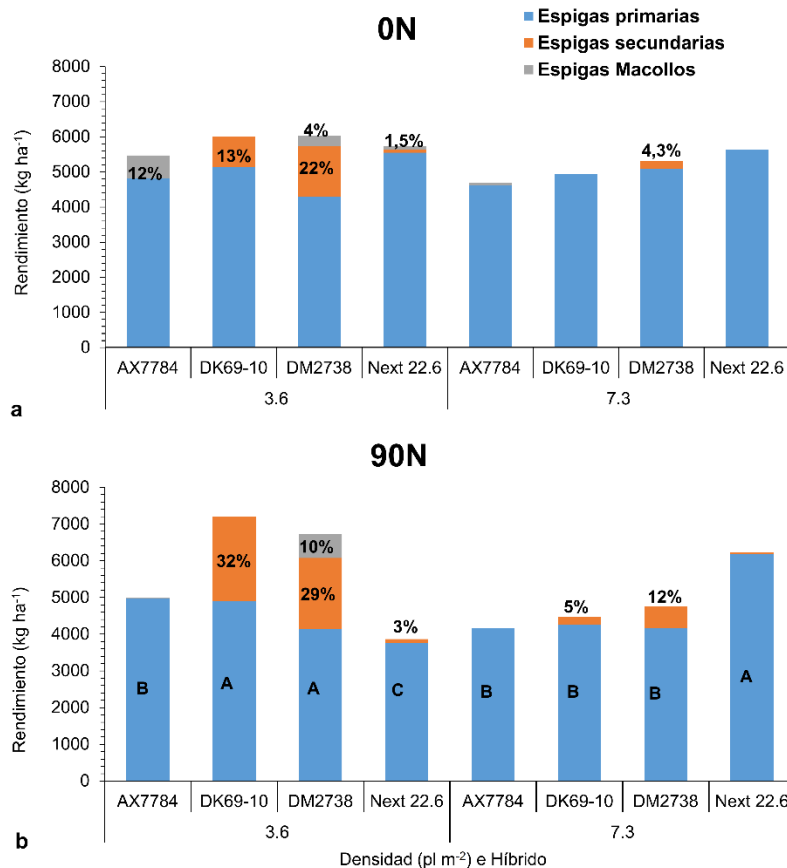


Fig. 2. Rendimiento de los diferentes estratos (espigas primarias, secundarias y de macollos) para cuatro híbridos sembrados en dos densidades de plantas y en dos condiciones de fertilización con N: (a) sin agregado de N (0N) y (b) con el agregado de 90 kg N ha⁻¹ (90N). En la parte superior de las columnas figura la contribución en % al rendimiento total de las espigas secundarias y/o de macollos si la hubo. Letras diferentes entre tratamientos indican diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$) entre híbridos para un mismo nivel de densidad de plantas y dosis de N.

El peso de mil granos (PMG) fue en general muy bajo producto del estrés hídrico. El híbrido con mayor PMG fue AX7784 (206 g), un 13 % mayor al promedio de los otros tres materiales evaluados (182 g). Además, el PMG fue mayor en espigas primarias (en promedio, 188 g) que en espigas secundarias (en promedio, 168 g) y espigas de macollos (en promedio, 157 g) (Fig. 3a). Solamente en uno de los híbridos (DK69-10) no hubo contribución al rendimiento por espigas generadas desde los macollos.

Por otra parte, el número de granos m⁻² de espigas primarias, fueron las que principalmente contribuyeron a la determinación del rendimiento, donde en promedio, Next 22.6 fue el híbrido con mayor valor, aunque con gran variabilidad (Fig. 3b). Acorde al mecanismo evaluado, en promedio, DK69-10 tuvo mayor contribución del n° de granos por unidad de área en espigas secundarias, seguido del otro híbrido prolífico (DM2738), mientras que los restantes materiales presentaron contribuciones insignificantes para este componente.

Cabe destacar que ambos componentes, PMG y n° granos por unidad de área presentaron gran variabilidad, lo cual fue asociado principalmente a las condiciones climáticas severas del ciclo agrícola y la combinación de tratamientos utilizados.

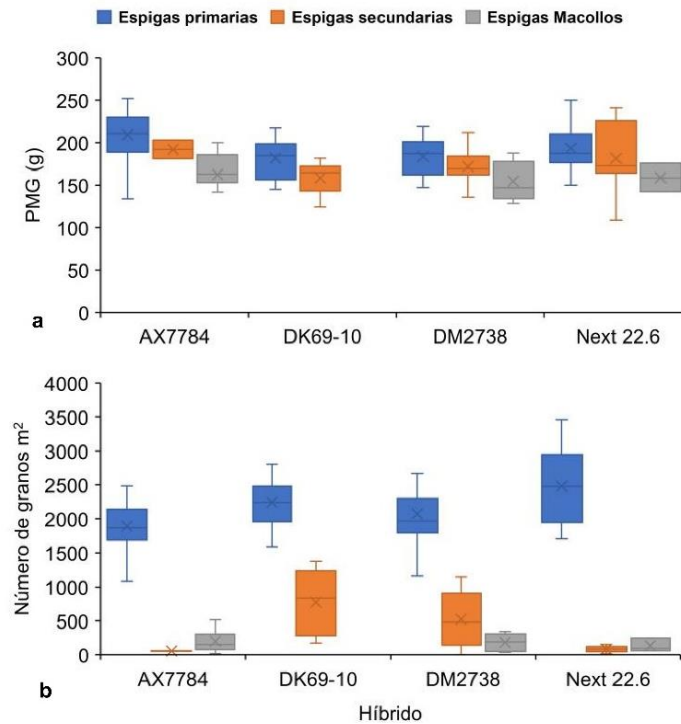


Fig. 3. Componentes del rendimiento: N° de granos m⁻² (a) y peso de mil granos (PMG) (b) de espigas primarias, secundarias y de macollos para los diferentes híbridos estudiados.

Rendimiento en combinaciones de Híbrido x Densidad de plantas x Momento de fertilización (Exp2)

A bajas densidades (3,6 pl m⁻²), DK69-10 tuvo mayor rendimiento que AX7784 ($p < 0,05$), pero en ninguno de los materiales evaluados se detectó efecto del momento de fertilización ($p > 0,05$) (Fig. 4). En promedio, la contribución de estructuras secundarias (espigas secundarias y/o de macollos) fue mayor en DK69-10, con escasos o nulos aportes en AX7784, sin detección de efectos del momento de fertilización con N para este carácter.

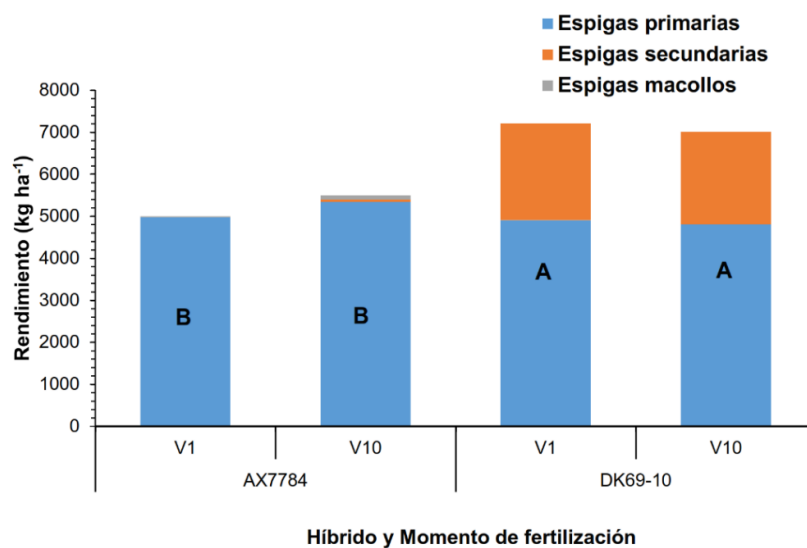


Fig. 4. Rendimiento obtenido en los diferentes estratos (espigas primarias, secundarias y de macollos) en los híbridos macollador (AX7784) y prolífico (DK69-10) en baja densidad de plantas (3,6 pl m⁻²) y con dos momentos de fertilización con N (V1 o V10).

Consideraciones finales

- Las condiciones ambientales limitantes (elevadas temperaturas y déficit hídrico) registradas en el presente ciclo agrícola permitieron evaluar estrategias de manejo defensivas y de tolerancia a este tipo de escenarios frecuentemente observado en siembras tempranas de maíz en Entre Ríos.
- En promedio, bajas densidades de plantas (3,6 pl m⁻²) tuvieron rendimientos superiores a las altas densidades (7,3 pl m⁻²), entre un 11 y un 14 % más para bajas (0N) y altas (90N) disponibilidades de N, respectivamente.
- Los híbridos con rasgos de prolificidad (DK69-10 y DM2738) en baja densidad de plantas fueron los que mayor rendimiento presentaron (en promedio, 6952 kg ha⁻¹), con contribuciones de granos en espigas secundarias al rendimiento total de 30,5 % en planteos de fertilización con N similares a los utilizados en la región (90N).
- El mecanismo de macollaje estuvo expuesto a condiciones altamente desfavorables desde el punto de vista climático, lo que determinó una baja contribución de granos de sus espigas al rendimiento total (en promedio 6,8 %).
- En base a la hipótesis previamente planteada, el momento de fertilización con N no tuvo efecto sobre el rendimiento ni condujo a incrementos en la contribución de granos por espigas secundarias y/o de macollos en esquemas de baja densidad de plantas.

Para seguir leyendo...

- BCBA. 2021. Bolsa de Cereales de Buenos Aires. <https://www.bolsadecereales.com/estimaciones-informes>. [Verificación: Julio de 2022].
- BCER. 2021. Bolsa de Cereales de Entre Ríos. Evolución de la superficie sembrada con maíz en la provincia de Entre Ríos. <https://www.bolsacer.org.ar/Fuentes/siberd.php?Id=1276>. [Verificación: Julio de 2022].
- CIANCIO N., PARCO M., INCOGNITO S. J. P. y G. Á. MADDONNI 2016. Kernel setting at the apical and sub-apical ear of older and newer Argentinean maize hybrids. *Field Crop Res.* 191, 101-110.
- ELLIS R.H., SUMMERFIELD R.J., EDMEADES G.O. and E.H. ROBERTS 1992. Photoperiod, Temperature, and the Interval from Sowing to Tassel Initiation in Diverse Cultivars of Maize. *Crop Science*, 32, 1225-1232.
- MADDONNI G.A. 2012. Analysis of the climatic constraints to maize production in the current agricultural region of Argentina—a probabilistic approach. *Theoretical and Applied Climatology*, 107, 325–345.
- MALTESE N.E., MADDONNI G.A., MELCHIORI R.J.M. and O.P. CAVIGLIA 2021. Plant nitrogen status at flowering and kernel set efficiency in early- and late-sown maize crops. *Field Crop Res.* 270, 108216.
- MALTESE N.E., MICHELIN C.I. y R.J.M. MELCHIORI 2022. Sequía y calor extremo en el ciclo agrícola 2021/22, impactos en maíces tempranos de Entre Ríos. Serie Extensión INTA Paraná N° 89, pág. 21 – 28.
- MERCAU J.L. & M.E. OTEGUI 2014. A modeling approach to explore water management strategies for late-sown maize and double-cropped wheat–maize in the rainfed Pampas region of Argentina. Practical applications of agricultural system models to optimize the use of limited water, 5, 351-373.
- PARCO M., CIAMPITTI I.A., D'ANDREA K.E. and G.Á. MADDONNI 2020. Prolificacy and nitrogen internal efficiency in maize crops. *Field Crops Research*, 256, 107912.
- PARCO M., D'ANDREA K.E., and G.Á. MADDONNI 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.

- ROSS F., DI MATTEO J. and A. CERRUDO 2020. Maize prolificacy: a source of reproductive plasticity that contributes to yield stability when plant population varies in droughtprone environments. *Field Crop Res.* 247, 107699.
- ROTILI D.H., SADRAS V.O., ABELEDO L.G., FERREYRA J.M., MICHELOUD J.R., DUARTE G., GIRON P., ERMACORA M. and G.Á. MADDONI 2021. Impacts of vegetative and reproductive plasticity associated with tillering in maize crops in low-yielding environments: A physiological framework. *Field Crop Res.* 265, 108107.
- WARRINGTON I.J. and E.T. KANEMASU 1983. Corn growth response to temperature and photoperiod. I. Seedling emergence, tassel initiation, and anthesis. *Agronomy Journal*, 75, 749–754.

Para mayor información:

maltese.nicolas@inta.gob.ar