

Maíz en baja densidad como estrategia para sortear ambientes limitantes

Maltese N.E.¹, Melchiori R.J.M.¹, Kunzi E.Y.², Modon G.³, Karst E.³ y Novelli L.¹

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA),
Estación Experimental Agropecuaria Paraná, Departamento de Producción

²Actividad privada (Ea. La Vigilancia)

³Alumno FCA-UNER

Frente a escenarios de alto riesgo climático y económico, la elección de la densidad de siembra en maíz tiene alto impacto en el costo del cultivo. El ajuste de la densidad de siembra en bajos niveles permite mantener un piso de rendimiento, mediante una mayor oferta de recursos por planta.

Maíz de siembra tardía en región Pampeana y Entre Ríos

En los últimos años, en la región templada húmeda de la Argentina, se ha ampliado la ventana de siembra de maíz hasta fechas más tardías (diciembre y hasta mediados de enero). Entre las principales razones que explican esta ampliación, están la mayor oferta de materiales con resistencia a insectos, y la búsqueda de mayor estabilidad en rendimiento interanual mediante un balance hídrico más equilibrado en el periodo reproductivo (Maddonni, 2012). Se trata de una decisión de tipo defensiva (Rotili *et al.*, 2021) que prioriza el criterio de estabilidad de los rendimientos medios a expensas de un menor rendimiento potencial. Esta disminución en el rendimiento potencial, está asociada con una menor radiación solar y temperaturas del aire durante el periodo reproductivo, respecto a las observadas en fechas de siembra tempranas (Maltese *et al.*, 2019). Una opción de este tipo de estrategia, es de interés particular en ambientes de productividad limitada por restricciones de suelos, los cuales presentan alto contenido de arcillas y un moderado a alto nivel de erosión, asociado a una elevada variabilidad climática durante el ciclo agrícola, como ocurre en Entre Ríos. En la última década, la siembra tardía se expandió alcanzando cerca del 50 % de la superficie total sembrada en la región pampeana (BCBA, 2020), aunque a nivel provincial se ha mantenido, en promedio, por debajo del 15% (BCER, 2020). Esta menor expansión regional del maíz tardío en la provincia de Entre Ríos, quizás obedezca, entre otros aspectos a una mayor presión de plagas, malezas, enfermedades fúngicas y menor calidad de granos por las condiciones climáticas desfavorable para el periodo pre-cosecha en la región. Sin embargo, resulta una herramienta relevante para la estabilización de rendimientos en la región, especialmente ante futuros escenarios de cambio climático (IPCC, 2013).

Ajustes en densidad de siembra y elección de híbridos

Frente a escenarios de alto riesgo climático, otra herramienta de manejo agronómico de tipo defensiva en maíz, es la densidad de siembra (Rotili *et al.*, 2019; Ross *et al.*, 2020). El uso de bajas densidades, tiene alto impacto en el costo del cultivo y mejora la rentabilidad del mismo si se logran condiciones que permitan mantener un piso de rendimiento, a través de una mayor oferta de recursos por planta (nutrientes, agua, radiación solar). Actualmente, el mercado de híbridos de maíz ofrece distintas opciones que permiten evaluarse en situaciones de reducciones en la densidad de siembra. Entre las características disponibles en los híbridos, puede disponerse de mayor plasticidad vegetativa y/o reproductiva a través de la expresión de caracteres como incremento en el número de espigas por planta (híbridos prolíficos), contribución de granos en espigas fértiles de macollos (híbridos macolladores), la flexibilidad en el tamaño de espiga (híbridos denominados Flex) y/o combinaciones de los mecanismos anteriores. Todos estos mecanismos, pueden operar compensando el rendimiento ante situaciones de menores densidades de plantas, bajo disponibilidad nutrientes y escenarios climáticos favorables.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el rendimiento de híbridos de maíz con diferentes caracteres de plasticidad vegetativa y reproductiva bajo densidades de siembra contrastantes en fechas de siembra tardía en dos ambientes del oeste de la provincia de Entre Ríos.

¿Cómo se realizó esta experiencia?

Se realizaron evaluaciones a campo en dos localidades, uno establecido en cercanías de la localidad de Santa Elena (Estancia la Vigilancia, 30°56' S; 59°38' O) sobre un suelo Vertisol Serie Estancia El Sauce (Peluderte árgico) (Santa Elena; Fig. 1) y otro en el Campo Anexo del INTA EEA Paraná (31°48'

S 60°32' O) sobre un suelo Molisol Serie La Jaula (Arguidol vértico) (Oro Verde). Los resultados de análisis de suelo a la siembra en ambas localidades son mostrados en la Tabla 1.



Fig. 1. Sitio de siembra de los experimentos en Ea. La Vigilancia (30°56'24" S; 59°38'31" O). Sta. Elena, Dpto. La Paz, Entre Ríos.

Tabla 1. Resultados de análisis de suelo a la siembra en las localidades de evaluación.

Variable	Santa Elena (Santa Elena)	Oro Verde (Paraná)
P-Bray (ppm)	12,0	22,3
N disponible 0-60 cm (kg ha ⁻¹)	42,2	40,0

En Santa Elena, se evaluaron 5 híbridos de maíz (Tabla 2) sembrados con 2 densidades (3,1 y 6,2 pl m⁻²) en fecha tardía (23/12/2020) combinadas con 2 dosis de N a la siembra, 60 y 210 kg N ha⁻¹; N(-) y N(+), respectivamente. En Oro Verde, se evaluó un solo híbrido con plasticidad vegetativa (AX7784) en fecha de siembra tardía (22/12/2020) con 3 densidades de siembra (3,5, 5,5 y 7,5 pl m⁻²) combinadas con 2 dosis de N aplicadas a la siembra, 40 y 90 kg N ha⁻¹; N(-) y N(+), respectivamente. En ambos sitios de evaluación se trabajó con un diseño en bloques completos al azar, con tres repeticiones. Cada unidad experimental fue de 4 (Santa Elena) o 5 (Oro Verde) surcos de ancho separados a 0,52 m, con una longitud de 15 m.

Tabla 2. Híbridos evaluados y caracteres de plasticidad vegetativa y/o reproductiva.

Híbrido	Carácter
1. DK73-20VT4PRO (Dekalb)	prolífico no macollador.
2. AX7784 (Nidera)	no prolífico, macollador.
3. DM2738 (Don Mario)	prolífico, macollador.
4. DK69-10VT3P (Dekalb)	prolífico no macollador.
5. Next 22.6 (Brevant)	flexibilidad de espiga, prolificidad baja, no macollador.

En Santa Elena, la siembra se realizó con una sembradora de dosificación de semillas a placa de 16 surcos a 0,52 m de separación, utilizando 4 surcos por genotipo. Al momento de la siembra se aplicaron 80 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico (FDA) y 120 kg ha⁻¹ de urea en banda al costado y debajo de la línea de siembra. Posteriormente, al estadio de 3 hojas (V3), se refertilizaron las parcelas de N(+) con urea aplicada al voleo y una dosis de 300 kg ha⁻¹ de urea. En Oro Verde, la siembra se realizó con una sembradora neumática de 5 surcos a 0,52 m de separación. Al momento de la siembra se aplicaron 80 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico debajo de la línea de siembra, y se fertilizó con 80 y 180 kg ha⁻¹ de urea incorporada al costado de la línea de siembra correspondientes a cada uno de los tratamientos de fertilización nitrogenada.

En ambos sitios, se registró el rendimiento total y en cada uno de los componentes (espigas primarias, de macollos y secundarias) en todos los híbridos evaluados. Además, se contabilizó el número de macollos y de espigas por planta y por unidad de superficie. Los resultados obtenidos, se analizaron con un análisis de varianza y las comparaciones de medias se realizaron mediante un test LSD – Fisher, utilizando el software estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2020).

¿Qué resultados obtuvimos?

Las condiciones de implantación fueron óptimas en ambos sitios, sin malezas presentes al momento de siembra, durante el desarrollo del cultivo y hasta pasada la floración. Si bien se observó la emergencia de algunas gramíneas hacia el final del ciclo, particularmente en las parcelas de baja densidad, se asume que no tuvo efecto de competencia hacia el cultivo.

En Santa Elena, la recarga del perfil previo a la siembra fue adecuada, asegurando una buena disponibilidad hídrica en los estadios iniciales, complementada con lluvias en enero, durante la mayor parte del periodo vegetativo (Fig. 2). Sin embargo, luego de la primera semana de febrero, las lluvias fueron menos frecuentes, escasas y se registraron altas temperaturas (>33°C), lo que condujo a condiciones de déficit hídrico puntuales alrededor de floración (R1). Posteriormente, el periodo de llenado de granos, transcurrió bajo condiciones hídricas adecuadas.

Oro Verde presentó buena condición hídrica para el crecimiento del cultivo, particularmente en el mes de enero, donde se registró un volumen de lluvias que condujo a una adecuada recarga del perfil. Esto, determinó elevadas tasas de crecimiento del cultivo durante la floración (R1) y el llenado de granos (Fig. 2).

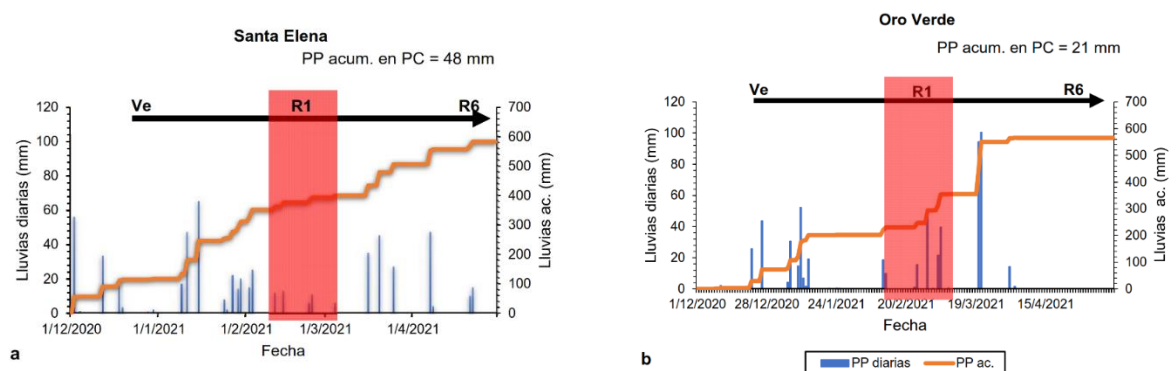


Fig. 2. Lluvias diarias (barras azules) y acumuladas (línea naranja) registradas durante el ciclo de cultivo de maíz en siembra tardía en Santa Elena (a) y Oro Verde (b), ciclo agrícola 2020/21. La línea continua negra representa el ciclo del cultivo e indica los momentos de emergencia (Ve), floración (R1) y madurez fisiológica (R6).

En Santa Elena, la densidad teórica de siembra ($6,2 \text{ pl m}^{-2}$) fue similar a la lograda, mientras que para la baja densidad ($3,1 \text{ pl m}^{-2}$), densidad lograda fue levemente superior a la teórica (Fig. 3a). En Oro Verde, la baja densidad teórica ($3,5 \text{ pl m}^{-2}$) fue lograda, mientras que para las densidades intermedia ($5,5 \text{ pl m}^{-2}$) y alta ($7,5 \text{ pl m}^{-2}$) los valores logrados fueron levemente inferiores la teórica (Fig. 3b).

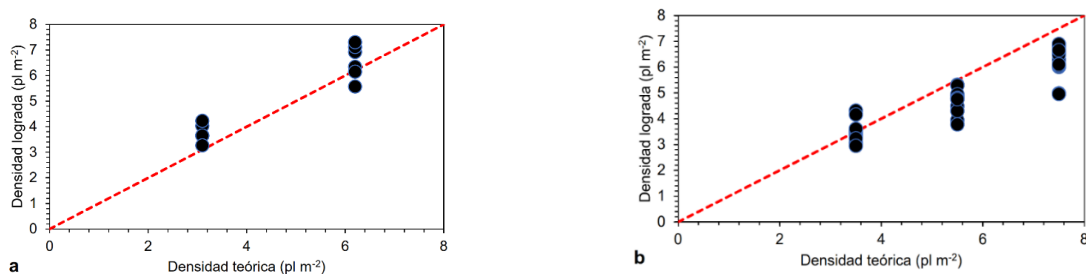




Fig. 3. Relación entre densidad de plantas lograda y teórica de siembra para Santa Elena (a) y Oro Verde (b). La línea roja cortada representa la relación 1 a 1. La imagen inferior corresponde a la calibración y control de profundidad de siembra en Santa Elena.

En Santa Elena, los híbridos evaluados, expresaron los caracteres de plasticidad vegetativa y/o reproductiva de la manera esperada (Fig. 4). En este sentido, se observó que el aumento en la densidad de plantas afectó negativamente la aparición de macollos y la prolificidad de espigas. En condiciones de menor disponibilidad de N, cuando la densidad de plantas fue menor, los híbridos evaluados mostraron un incremento en su prolificidad solo por debajo de las 4 pl m⁻², mientras que, bajo condiciones de mayor disponibilidad de N, ese umbral fue levemente superior, i.e. 4,5 pl m⁻², y la prolificidad se incrementó. Como se esperaba, los híbridos que presentaron mayor prolificidad fueron DK69-10VT3P y DK73-20VT4PRO (Fig. 4).

En cuanto a los macollos, similar a lo observado para el carácter de prolificidad, el umbral de expresión de este mecanismo de plasticidad fue observado en densidades por debajo de 4 pl m⁻² bajo condiciones de menor disponibilidad de N, con menor número de macollos por planta (0,23), mientras que, el umbral de densidad se incrementó a 4,5 pl m⁻² con incrementos en la disponibilidad de N, con un promedio de macollos por plantas de 0,37. Para este carácter, los híbridos que presentaron mayor número de macollos fueron AX7784, Next 22.6 y DM2738 (Fig. 4).

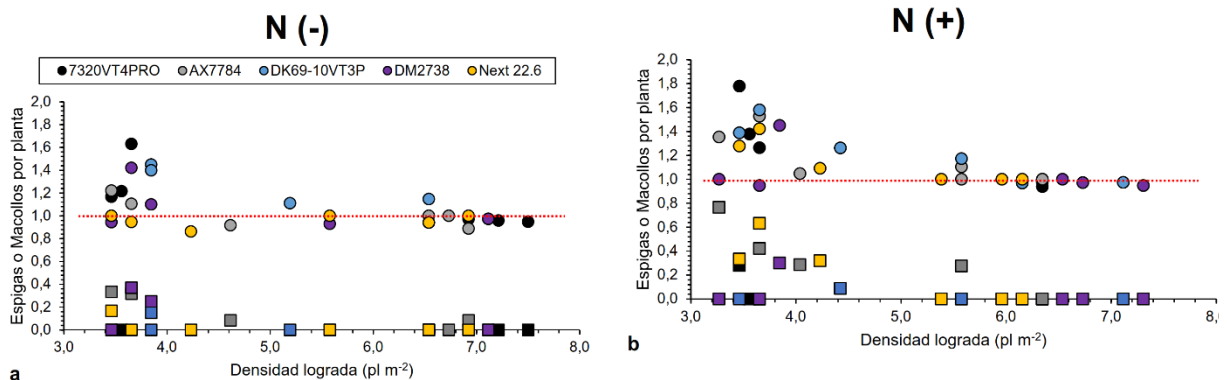


Fig. 4. Espigas (fértil; círculos) y macollos (fértil + infértil; cuadrados) por planta en función de la densidad de plantas lograda a cosecha y condiciones de menor (N-) (a) y mayor disponibilidad de N (N+) (b) (60 y 210 kg N ha⁻¹) para cada híbrido evaluado en Santa Elena.

Similar a lo observado en Santa Elena, en Oro Verde, tanto el número de macollos y el de espigas por planta disminuyeron linealmente con incrementos en la densidad de plantas (Fig. 5). Sin embargo, la contribución de más de una espiga por planta fue dada principalmente por macollos fértiles y no por espigas secundarias, acorde al mecanismo de plasticidad expresado por el híbrido AX7784. Además, a bajos niveles de densidad, el incremento en la disponibilidad de N condujo a un incremento en el número de espigas y macollos por planta respecto a lo observado en condiciones de menor disponibilidad de N.

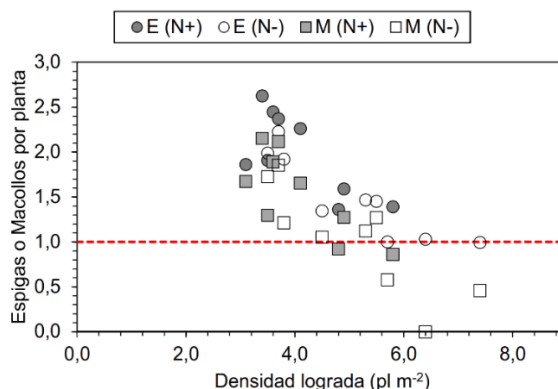


Fig. 5. A la izquierda, imagen de una planta del híbrido AX7784 con una espiga en tallo principal y sus vástagos secundarios (macollos) con espigas fértiles. Derecha, espigas (E) y macollos (M) (fértiles + infértiles) por planta en función de la densidad lograda para dos condiciones de fertilización con N evaluados en Oro Verde.

El rendimiento medio del ensayo en Santa Elena fue de 7522 kg ha⁻¹, superior al registrado en la zona (Fig. 6A-B). Para esta variable, se registró efecto positivo de la dosis de N (P<0,05) e interacción significativa de híbrido x densidad de plantas (P<0,05). El rendimiento promedio de los tratamientos fertilizados con la dosis de 210N (7867 kg ha⁻¹) fue un 10% mayor al de los tratamientos con la dosis de 60N (dosis empleada por el productor), con la cual se alcanzó un rendimiento promedio de 7177 kg ha⁻¹. Independientemente de la dosis de N, los híbridos de mayor rendimiento fueron DK73-20VT4P (en promedio, 10130 kg ha⁻¹) y DK69-10VT3P (en promedio, 9373 kg ha⁻¹) en la densidad más alta (6,2 pl m⁻²), mientras que el resto de los híbridos tuvieron rendimiento similar o un comportamiento errático frente a cambios en la densidad de plantas. Los menores rendimientos se observaron en bajas densidades (3,1 pl m⁻²) en los híbridos DK69-10VT3P (6070 kg ha⁻¹) y DM2738 (5547 kg ha⁻¹).

La contribución de espigas secundarias y de macollos al rendimiento total por planta fue mayor en la medida que se redujo la densidad de plantas, mostrando variabilidad para este carácter entre los híbridos evaluados en función de su caracterización inicial (Fig. 6). Aunque la contribución de espigas secundarias y de macollos en baja densidad de plantas no alcanzó a compensar los rendimientos obtenidos con la densidad superior en la mayoría de los híbridos, se detectó un incremento en la capacidad de compensación cuando la dosis de N fue incrementada. En este sentido, algunos híbridos, como AX7784 y el Next 22.6 sembrados en bajas densidades, alcanzaron un rendimiento similar al de la densidad superior por compensación en espigas de macollos bajo una elevada disponibilidad de N (Fig. 6).

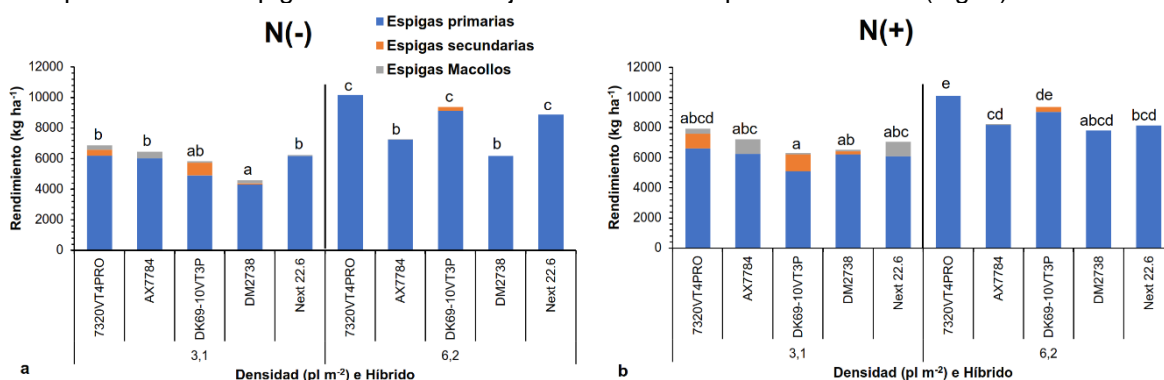


Fig. 6. Rendimiento medio logrado por híbrido en Santa Elena en función de 2 densidades de plantas teóricas (3,1 y 6,2 pl m⁻²). Bajo condiciones de mayor (N+) y menor disponibilidad de N (N-) (60 y 210 kg N ha⁻¹). Letras diferentes indican diferencias significativas (P<0,05) entre medias de cada tratamiento dentro de cada condición de fertilización nitrogenada.

En Oro Verde, el rendimiento promedio fue de 9871 kg ha⁻¹, acorde con las buenas condiciones ambientales bajo la cual creció el cultivo. Para esta variable, se detectó un efecto positivo de la dosis de N (P<0,05) (en promedio, 10 527 y 9214 kg ha⁻¹ para las dosis de 90N y 40N, respectivamente; Fig. 7). En general, el rendimiento fue similar para todas las dosis de N y densidades de plantas evaluadas, excepto para la combinación de 3,5 pl m⁻² y 90N donde el rendimiento fue superior, alcanzando los 12 171 kg ha⁻¹, lo que fue asociado a su gran capacidad de producir macollos fértiles (73% de fertilidad en macollos) bajo

las condiciones exploradas. La contribución de espigas secundarias al rendimiento fue insignificante, mientras que la contribución de macollos fue mayor en la medida que se redujo la densidad y se incrementó la dosis de N. Estos resultados sugieren que AX7784, resulta un híbrido con muy alta plasticidad en este tipo de ambientes cuando el balance hídrico en el suelo es favorable durante los periodos vegetativo (establecimiento de macollos) y reproductivo (fijación de espigas fértiles en macollos).

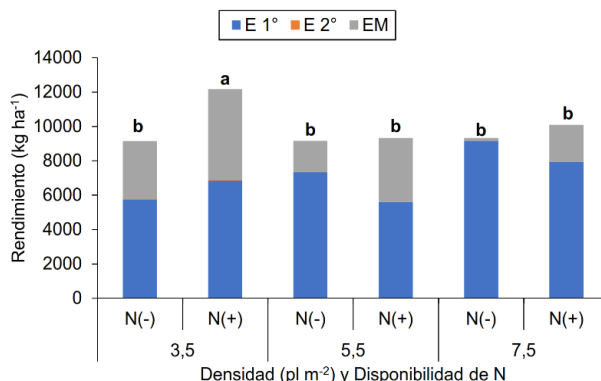


Fig. 7. Rendimiento medio logrado por AX7784 en Oro Verde en función de 3 densidades de plantas teóricas (3,5, 5,5 y 6,2 pl m⁻²) y bajo condiciones de mayor (N+) y menor disponibilidad de N (N-) (40 y 90 kg N ha⁻¹, respectivamente). Letras diferentes indican diferencias significativas (P<0,05) entre medias de cada tratamiento.

La contribución porcentual de espigas y macollos al rendimiento total para el híbrido AX7784 (Fig. 8) varió en relación con la densidad de siembra y la disponibilidad de N en el sitio de Oro Verde. La contribución de espigas fértiles de macollos se incrementó con reducciones en la densidad de plantas y con aumentos en la dosis de N. Incluso bajo condiciones de alta densidad (7,5 pl m⁻²) y alta disponibilidad de N (+), las espigas de macollos contribuyeron en promedio, 22% al rendimiento total del cultivo.

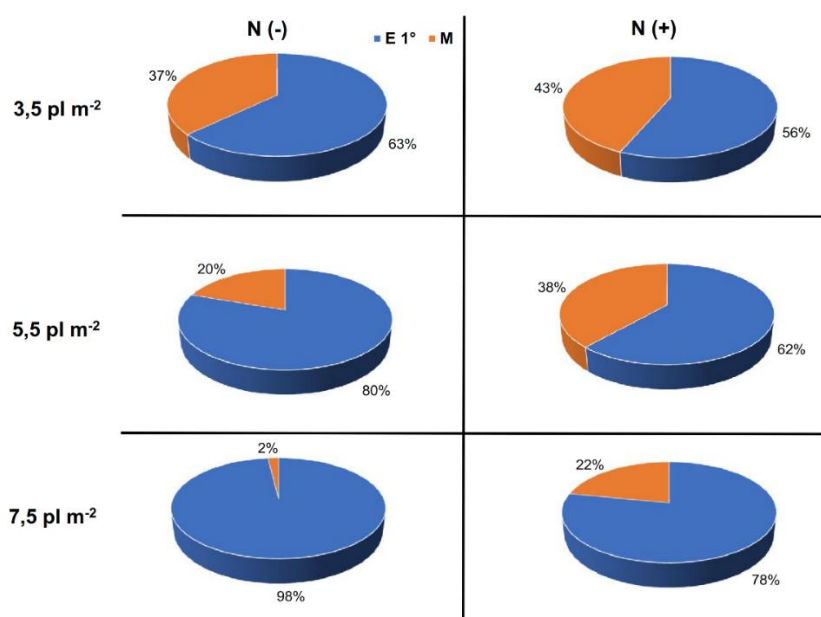


Fig. 8. Contribución en porcentaje (%) de las espigas primarias (E 1°) y de macollos fértiles (M) al rendimiento total para el híbrido AX7784 en 3 densidades de plantas y dos condiciones de disponibilidad de N en Oro Verde.

Consideraciones Finales

- ✓ Los híbridos evaluados expresaron caracteres de plasticidad vegetativa y/o reproductiva diferente ante reducciones en la densidad de plantas acorde a las caracterizaciones preliminares.

- ✓ La aparición de estructuras vegetativas y reproductivas que sean capaces de estabilizar el rendimiento en ambientes limitantes se encuentra estrechamente asociado al nivel de densidad y N utilizado.
- ✓ En ambos Exps, la contribución de espigas secundarias y de macollos al rendimiento total se redujo marcadamente frente a incrementos en la densidad de plantas y reducciones en la disponibilidad de N.
- ✓ En Santa Elena, los híbridos DK73-20VT4P y DK69-10VT3P fueron los que contribuyeron en mayor medida al rendimiento total con espigas secundarias (12 y 18%, respectivamente) cuando se sembraron en baja densidad (3,1 pl m⁻²) y alta disponibilidad de N (210 kg N ha⁻¹). Mientras que los híbridos Next 22.6 y AX7784 fueron los que más contribuyeron al rendimiento total con espigas de macollos (14 y 13%, respectivamente) bajo las mismas condiciones de densidad de plantas y disponibilidad de N.
- ✓ En Oro Verde, asociado a la mejora en el ambiente, el mecanismo de macollaje de AX7784 se expresó marcadamente e incluso incrementó el rendimiento bajo condiciones de baja densidad (3,5 pl m⁻²) y alta fertilización con N (90 kg N ha⁻¹), lo que condujo a contribuciones al rendimiento total de hasta el 43%.
- ✓ Las diferencias en la contribución de espigas secundarias y macollos al rendimiento total entre sitios, podrían estar asociadas a cambios en el tipo de suelo (Vertisol vs. Molisol) combinado con elevadas temperaturas máximas diarias durante el mes de febrero en Santa Elena (dato no registrado).
- ✓ La utilización de mecanismos de compensación en planteos de baja densidad de maíz como opción para ambientes limitantes requiere de una buena caracterización previa del ambiente y el híbrido a utilizar como así también de un ajuste apropiado de la fertilización nitrogenada en orden a estabilizar el rendimiento en la región.

Agradecimientos

Agradecemos al establecimiento Ea. La Vigilancia e Ing. Agr. a cargo, Estéfano Kunzi por su colaboración en el ensayo de Santa Elena. A las empresas Bayer CropScience, Corteva Agriscience, Raíces del Este S.R.L. y Don Mario semillas, por el aporte de los híbridos utilizados en las evaluaciones. Estos ensayos, forman parte de una red más amplia (<https://www.agro.uba.ar/GET/reduba-demaiz>), en la cual participan técnicos de la EEA INTA Paraná, y en la cual se vinculan grupos de investigación nacional, internacional y empresas del sector privado.

Para seguir leyendo...

- BCBA. 2021. Bolsa de Cereales de Buenos Aires. <https://www.bolsadecereales.com/estimaciones-informes>. Verificación: septiembre 2021.
- BCER. 2021. Bolsa de Cereales de Entre Ríos. https://www.bolsacer.org.ar/Fuentes/siber_cat.php?id=7. Verificación: septiembre 2021.
- DI RIENZO J.A., CASANOVES F., BALZARINI M.G., GONZALEZ L., TABLADA M. y C.W. ROBLEDO 2020. InfoStat. Córdoba, Argentina. Retrieved from. Universidad Nacional de Córdoba. <http://www.infostat.com.ar/>. Verificación: septiembre 2021.
- 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(3-4), 325-345. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0478-9>
- MALTESE N.E., MELCHIORI R.J.M., MADDONNI G.A., FERREYRA J.M. and O.P. CAVIGLIA 2019. Nitrogen economy of early and late-sown maize crops. *Field Crops Research*, 231, 40-50. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.11.007>
- IPCC 2013. CLIMATE CHANGE 2013: THE PHYSICAL SCIENCE BASIS. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Eds.: Stocker, T.F., Qin D., Plattner G.K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V. and P.M. Midgley. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. <https://research.monash.edu/en/publications/long-term-climate-change-projections-commitments-and-irreversibil>. Verificación: septiembre 2021.



ROTILI D.H., SADRAS V.O., ABELEDO L.G., FERREYRA J.M., MICHELOUD J.R., DUARTE G., GIRON P., ERMÁCORA M. and G.A. MADDONNI 2021. Impacts of vegetative and reproductive plasticity associated with tillering in maize crops in low-yielding environments: a physiological framework. *Field Crops Research*, 265, 108107. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108107>

Para mayor información: maltese.nicolas@inta.gob.ar