

**ÁREA DE CONSOLIDACIÓN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CULTIVOS
EXTENSIVOS.**

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA

**RENDIMIENTO DE UN HÍBRIDO DE MAÍZ MACOLLADOR ANTE
CAMBIOS EN LA DENSIDAD DE SIEMBRA Y LA OFERTA DE
NITRÓGENO, EN CONDICIONES BAJO RIEGO**

Año 2023

Autores: González, Noelia Rosa
Pacho, Jeremías

Tutor: Ing. Agr. (Dr. MSc.) Cantarero, Marcelo



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución – No Comercial – Sin Obra Derivada 4.0 Internacional.

RESUMEN

El cultivo de maíz es uno de los cultivos más importantes en Córdoba, siendo ésta la principal provincia productora a nivel nacional. El manejo del cultivo generalmente se basa en utilización de híbridos con alto potencial de rendimiento, la utilización de fertilizantes nitrogenados, fecha de siembra tardía, en donde el ajuste de la densidad de plantas resulta especialmente relevante en este cultivo. Por otra parte, en años húmedos, las bajas densidades de uso común en zonas como esta, debido a las variaciones interanuales de las precipitaciones pueden limitar la captura de radiación, la biomasa y el rendimiento, y los genotipos con plasticidad vegetativa y reproductiva asociada con el macollamiento y la prolificidad serían adaptables ante esta situación.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta en el rendimiento de un híbrido macollador ante dos factores, la densidad de plantas y la dosis de nitrógeno, bajo la condición sin restricción hídrica. Las densidades evaluadas fueron 4 y 8 plantas m^{-2} . Se evaluaron tres dosis de N: 0, 100 y 200 kg de N ha^{-1} . Y evaluar si la utilización de este genotipo, con algún grado de macollamiento, puede generar que la penalización sobre rendimiento sea menor en situaciones de baja densidad. El diseño experimental utilizado fue el de parcelas subdivididas y contó con tres repeticiones. No se encontró interacción significativa entre los factores para ninguna de las variables evaluadas. El rendimiento fue significativamente mayor en la densidad de 8 plantas m^{-2} . En cuanto a las dosis de N, el rendimiento obtenido a la dosis 0N fue significativamente menor con respecto a las dosis 100 y 200N. Y entre estas dosis no hubo diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento. Hubo un aporte significativo al rendimiento por parte de los macollos, en la baja densidad, pero su aporte no llegó a igualar al rendimiento obtenido en la mayor densidad.

INTRODUCCIÓN

Según el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGyP, 2023), la provincia de Córdoba es la principal productora de maíz de la Argentina, desde hace algunos años. En el centro y norte de Córdoba, el manejo del cultivo se ha caracterizado principalmente por la incorporación de materiales genéticos de alto potencial de rendimiento, la mejora en los niveles de aplicación de fertilizantes, sobre todo los de tipo nitrogenado y en el retraso de la fecha de siembra hacia el mes de diciembre (Cantarero et al., 2020). El atraso de la fecha de siembra mejora el estado hídrico de los cultivos debido a la recarga hídrica de los suelos y a la disminución de la demanda hídrica ambiental (Calviño and Monzón, 2009; Magliano et al., 2014). Asimismo, disminuye la probabilidad de episodios de estrés térmico por alta temperatura y de alto déficit de presión de vapor (Vega et al., 2017). El mejor ambiente hídrico alrededor de la floración es el principal factor que explica la frecuente mayor estabilidad del rendimiento a través de años en los cultivos en secano (Florio et al., 2014, Mercau et al., 2014; Giménez et al., 2015). En ambientes de secano, los agricultores generalmente ajustan la densidad de plantas teniendo en cuenta la variación en el suministro de agua asociado con las precipitaciones y el suelo (Rotili et al., 2021b). El ajuste de la densidad de siembra resulta especialmente relevante en este cultivo siendo una de las prácticas de manejo que determina la capacidad del cultivo para captar recursos, afectando de manera importante la captura de la radiación solar y el consumo de agua y nutrientes (Andrade et al., 1996). La densidad óptima es aquella que produce el mayor rendimiento, y ésta puede ser incrementada en la medida que mejora la oferta de recursos del ambiente (Simón et al., 2018). La densidad de plantas tiene importantes efectos en la partición de materia seca entre estructuras vegetativas y reproductivas. En maíz, el rendimiento presenta escasa estabilidad frente a variaciones en la densidad de plantas, y es sumamente sensible a la disminución en la cantidad de recursos disponibles por planta en el período alrededor de la floración. En este cultivo, existe una estrecha relación positiva entre la tasa de crecimiento por planta (TCP) y el número de granos por planta (NGP) y esta asociación tiene características que muestran que cuando la TCP cae, por ejemplo cuando se usan altas densidades, el NGP cae más que proporcionalmente respecto a la caída de TCP. Por otro lado cuando se logran altas TCP, por ejemplo en

planteos de baja densidad, se logra una saturación de Número de Grano por Planta, dada su baja plasticidad reproductiva (Andrade et al., 1999).

En años húmedos las bajas densidades pueden limitar la captura de radiación, la producción de biomasa y el rendimiento, y aquellos genotipos con plasticidad vegetativa y reproductiva asociada con el macollamiento y la prolificidad serían adaptables en comparación con las plantas de un solo tallo y de una sola espiga (Rotili et al., 2021a). La plasticidad reproductiva puede manifestarse a través de la flexibilidad en el número de granos por espiga (maíces que se denominan flex) o por prolificidad (mayor número de espigas por planta), en este último caso, la prolificidad puede surgir de espigas secundarias sobre el tallo principal o de la proliferación de macollos fértiles (Maltese et al., 2021; Massigoge et al., 2022).

La aparición de macollos con espigas podría ayudar a la plasticidad del maíz en cultivos de baja densidad cuando las condiciones de crecimiento son favorables. En condiciones óptimas de alta disponibilidad de recursos por planta, los cultivos macolladores pueden aumentar la producción de biomasa al incrementar la interceptación de la radiación fotosintéticamente activa (iPAR), debido a un mayor índice de área foliar (Massigoge et al., 2022).

El macollamiento está regulado por factores genéticos y ambientales. La emisión de macollos se desencadena debido a la combinación de una alta relación Rojo/Rojo Lejano en los niveles inferiores del canopeo (Casal et al., 1986) y una elevada producción de asimilados por el tallo principal de cada planta en etapas tempranas del ciclo (Alam et al., 2014). Por lo tanto, a baja densidad de plantas, mayores tasas de crecimiento durante el crecimiento vegetativo temprano favorecería el macollamiento en genotipos que posean esta característica (Rotili et al., 2021b).

Por otro lado, una adecuada disponibilidad de nutrientes, especialmente a partir del momento en que los nutrientes son requeridos en mayores cantidades (aproximadamente a partir del estado de cinco a seis hojas desarrolladas), asegura un buen crecimiento foliar y una alta eficiencia de conversión de la radiación solar interceptada, para lograr un estado óptimo de crecimiento durante el período crítico (Golik y Fleitas, 2018).

Según Andrade et al., (1996), en las zonas maiceras de la Argentina dos de los macronutrientes más limitantes para la producción agrícola son el nitrógeno y el fósforo. Éstos condicionan, entre otros aspectos, el establecimiento y el mantenimiento de la capacidad fotosintética del canopeo y la determinación de la capacidad de los destinos reproductivos. Tanto el índice de área foliar, la senescencia de las hojas y la actividad fotosintética, dependen, en gran medida de la disponibilidad de nitrógeno y fósforo, por lo que deficiencias de estos nutrientes disminuyen la interceptación de radiación por parte del cultivo y la eficiencia de conversión de radiación interceptada en biomasa (Andrade et al., 1996).

Por otra parte, los factores que determinan la magnitud de la respuesta a la fertilización nitrogenada en maíz son la capacidad del suelo de proveer nitrógeno (N) a través de la mineralización, junto al potencial de rendimiento (Salvagiotti et al., 2011). Y el aporte de N del suelo está en función del contenido de N orgánico del suelo y los residuos que dejan los cultivos antecesores (Salvagiotti et al., 2014).

En este experimento el objetivo fue evaluar el rendimiento de un híbrido, con capacidad de macollar, en condiciones sin limitaciones hídricas, y con diferentes niveles de nitrógeno, si tiene la capacidad de compensar una menor densidad de plantas y generar que la penalización sobre el rendimiento sea menor.

HIPÓTESIS

En ambientes sin limitaciones de agua, la mejora del rendimiento debe combinar mayor densidad con mayor oferta de nitrógeno. Pero la utilización de genotipos con algún grado de plasticidad reproductiva (macollaje) puede generar que la penalización sobre el rendimiento sea menor en situaciones de baja densidad.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la respuesta del rendimiento frente a cambios de la densidad y la oferta de nitrógeno.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el peso seco total de la biomasa aérea, la radiación fotosintéticamente activa interceptada acumulada durante el ciclo y la eficiencia de uso de la radiación para los distintos tratamientos.
- Evaluar el rendimiento y sus componentes numéricos e índice de cosecha para los diferentes factores.
- Evaluar el aporte al rendimiento por parte de los macollos, para las diferentes densidades y niveles de N.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en el Área Experimental del Campo Escuela de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, ubicado Camino a Capilla los Remedios Km 15,5 (31° 28 49,42" S y 64°00 36,04" O). Sobre suelo Haplustol éntico con capacidad de uso IIIc (Mapas de Córdoba, 2022). Se caracterizó el ambiente climático durante el ciclo del cultivo a través de datos aportados por una estación agrometeorológica ubicada a 200 m del experimento.

El lote presenta como cultivos antecesores la secuencia Maíz/Arveja. Previo a realizar el ensayo se tomaron muestras de suelo, para determinar el agua útil en el perfil y la fertilidad edáfica.

El híbrido sembrado fue Next 22.6 Enlist de Brevant, la tecnología enlist consiste en el apilado de genes focalizados en el control de malezas, dichos híbridos son resistentes a herbicidas como: Glifosato, Glufosinato de amonio, Haloxypop y 2-4 D. Este híbrido, según estudios previos llevados a cabo en este sitio, ha manifestado ser un híbrido macollador (Cavaglia et al., 2018).

El diseño experimental empleado fue de parcelas subdivididas con tres repeticiones. En la parcela principal se asignó el factor densidad con dos niveles (4 y 8 plantas m⁻²). Las subparcelas se asignaron al nivel de nitrógeno, (0, 100 y 200 kg N ha⁻¹). En la Fig. 1 se muestra un esquema del marco experimental. Cada unidad experimental fue de 9 surcos de ancho por 7 m de largo con un espaciamiento entre surcos de 0,52 m.

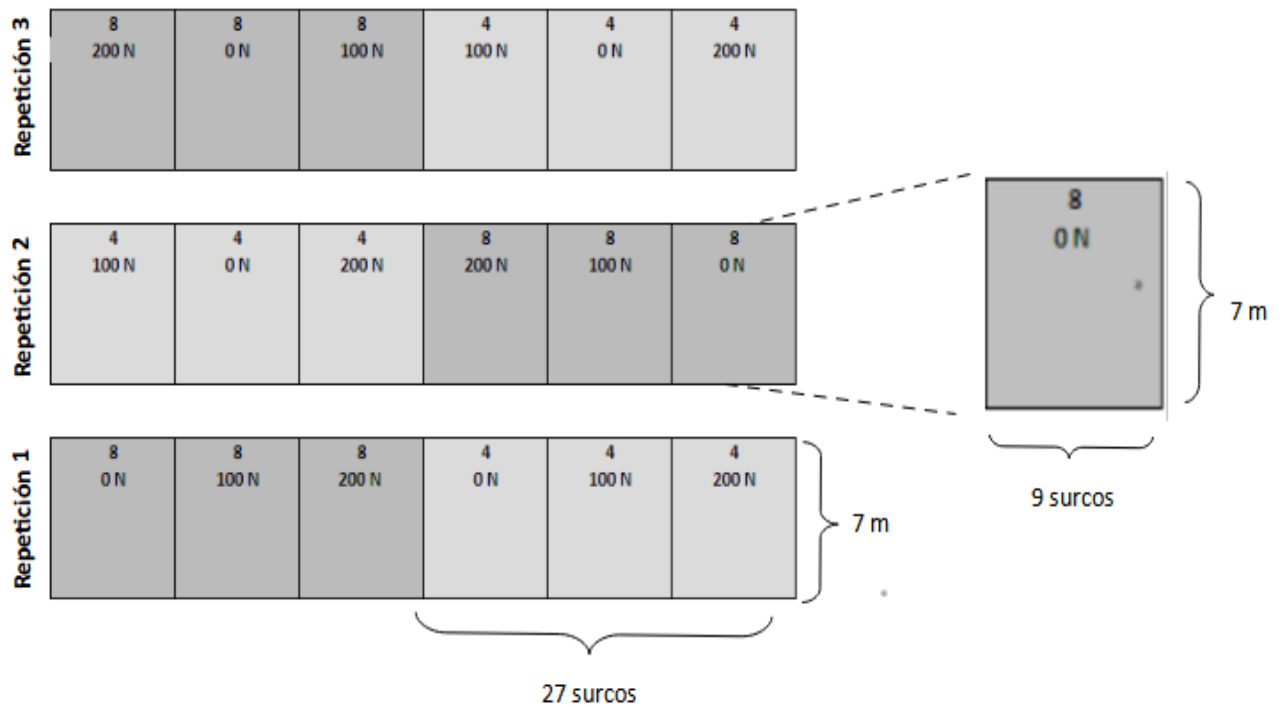


Fig. 1: Esquema del ensayo, indicando la distribución de las parcelas principales, las subparcelas y las repeticiones. En gris claro, se muestra el factor principal con 4 plantas m^{-2} , en el gris oscuro el de 8 plantas m^{-2} . Dentro de cada subparcela se indica el nivel de N. A la derecha, tamaño de las subparcelas.

La siembra se realizó el 21 de diciembre del año 2020. Todas las parcelas se sembraron para obtener 8 plantas m^{-2} . Para obtener la densidad de 4 plantas m^{-2} , se realizó un raleo manual en el estado V3 de acuerdo a la clave de Ritchie y Hanway, (1982). Las aplicaciones de N se realizaron en estadio V4, al costado de la línea de siembra y de forma manual, utilizando el fertilizante urea. Posterior a la aplicación de urea ocurrieron precipitaciones que favorecieron la incorporación del fertilizante.

Durante el ciclo del cultivo se mantuvo al experimento libre de malezas, plagas y enfermedades.

A madurez fisiológica, se tomaron muestras de la biomasa aérea de una superficie de dos metros cuadrados, de la parte central de cada parcela. Se separaron las espigas del resto del material vegetal y estas se clasificaron entre espigas provenientes del tallo principal y las provenientes de los macollos. Las

muestras se secaron en estufa a 60 °C hasta peso constante obteniéndose el peso seco total (g m^{-2} ; PST). Las espigas se trillaron y se pesaron los granos diferenciando el peso seco de los granos provenientes del tallo principal de los pertenecientes a los macollos. El rendimiento se expresó con una humedad del 14 %. El peso individual del grano (PG) de cada muestra se obtuvo a partir de una muestra de 200 granos. El número de granos por unidad de superficie (NG) se calculó como el cociente entre el rendimiento seco (0% de humedad) y el PG.

Durante el ciclo del cultivo se midió semanalmente con un ceptómetro, la fracción de radiación fotosintéticamente activa interceptada en cada unidad experimental. La fracción de radiación interceptada diaria se calculó por interpolación lineal entre mediciones. Los datos de radiación global incidente fueron obtenidos de una estación agrometeorológica ubicada a 200 m del experimento. La cantidad de radiación fotosintéticamente activa acumulada desde la emergencia a madurez fisiológica ($\text{RFAI}_{\text{E-MF}}$) se obtuvo a partir del producto de la fracción diaria de radiación interceptada y la radiación fotosintéticamente activa incidente. La eficiencia de uso de la radiación (EUR) se calculó como el cociente entre el PST y la ($\text{RFAI}_{\text{E-MF}}$).

Para el análisis de los datos obtenidos, se utilizó el software estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2020). Se recurrió a la técnica de Modelos Lineales Mixtos y como prueba de comparación de medias se utilizó la prueba Di Rienzo, Guzmán y Casanoves ($P < 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIONES

a) Condiciones ambientales durante la campaña

Los resultados del análisis de fertilidad del suelo se muestran en la **Tabla 1**. A partir del Nitrógeno de Nitrato (N-NO₃) se calculó el N-NO₃ en kg ha⁻¹ inicial, el cual fue de 148 kg ha⁻¹. Este valor es alto y puede deberse a que el cultivo antecesor es una leguminosa, y que existe un aporte de N a través de la fijación biológica de N. Salvaggiotti et al., (2014) en su estudio sobre la fertilización nitrogenada en maíz en fechas tardías, según el cultivo antecesor, encontró valores de 82, 110 y 119 kg de N ha⁻¹ hasta los 60 cm, cuando el antecesor fue arveja en tres sitio-años diferentes en dos localidades del centro-sur de Santa Fe.

El fósforo extractable (P), se encuentra por encima de los umbrales críticos de respuesta (disponibilidad de P por encima de la cual la probabilidad de respuesta a la fertilización es baja) los cuales, según diferentes estudios se encuentran alrededor de 14 y 19 ppm. Colazo, J. C. (2015) reportó una alta probabilidad de respuesta a la fertilización con niveles menores a 13 ppm. Se espera que la demanda de azufre sea suplida por el contenido actual, más lo aportado por la Materia Orgánica durante el ciclo, ya que algunos autores hablan de umbrales de respuesta por debajo de las 10 ppm, en este caso el valor estuvo muy levemente por encima, 10,8 ppm. La conductividad eléctrica (CE) y el pH se encuentran dentro de los rangos óptimos para este cultivo, obteniéndose valores de 1,6 dS m⁻¹ y 6, respectivamente. Colazo (2015) afirma que el maíz es una planta sensible a la presencia de sales solubles en la solución del suelo y que con valores mayores a 2 dS m⁻¹ de CE en el estrato de saturación el rendimiento relativo comienza a disminuir, en cuanto al pH los valores óptimos se encuentran entre 5,5 – 7,5.

Tabla 1: Profundidad, Materia Orgánica (MO), Nitrógeno Total (Nt), Nitrógeno de Nitratos (N-NO₃), Azufre de sulfatos (S-SO₄), Fosforo Bray (P Bray), pH y Conductividad Eléctrica (CE).

Profundidad	MO	Nt	N-NO ₃	S-SO ₄	P Bray	pH	CE
(cm)	(%)	(%)		(ppm)			(dS m ⁻¹)
0-20	2,15	0,122	29,9	10,8	42,7	6	1,6
20-60			14,6				

Los datos agroclimáticos se muestran en la **Tabla 2**. El agua útil a la siembra fue de 162 mm. Las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo fueron de 428 mm y 180 mm fueron los aplicados mediante riego por goteo subterráneo. Si se le aplica un 50% de eficiencia a las precipitaciones, da un total de agua disponible durante todo el ciclo del cultivo de 556 mm. Este valor es superior a la demanda ambiental, representada por la Evapotranspiración potencial (ET₀) la cual fue de 480 mm, en este periodo. Esto indica que se cubrieron satisfactoriamente los requerimientos hídricos en este experimento. Dardanelli et al., (2004) encontró resultados similares para la demanda de agua del cultivo de maíz creciendo sin limitaciones hídricas en Córdoba, la cual se ubica entre los 500 y 600 mm.

Se observa una caída en los promedios de radiación diaria, disminuyendo en un 58% la RG, o 0,9 Mj m⁻² cada 10 días desde la emergencia del cultivo hasta los primeros días de mayo, cuando alcanzó la madurez fisiológica. Esto es lo esperable debido a la latitud y teniendo en cuenta la fecha de siembra. Cantarero et al., (2000) en sus estudios sobre el efecto de la época de siembra sobre el rendimiento del cultivo de maíz, para esta región, encontró disminuciones en la RG de 0,8 Mj m⁻² cada 10 días a partir de febrero y afirma que el retraso de la fecha de siembra redujo el rendimiento en grano a partir de siembras de diciembre, por menor oferta radiativa durante el período crítico de determinación del NG. Por otro lado, la temperatura también disminuye, disminuyendo la probabilidad de episodios de estrés térmico por alta temperatura (Vega et al., 2017)

Tabla 2: Meses, Sumatoria de Precipitaciones, de lámina de riego aplicada y de Evapotranspiración Potencial. Promedio diario de Radiación Global, de Radiación Fotosintéticamente Activa y de Temperatura media, durante todo el ciclo del cultivo.

Meses	Precipitaciones (mm)	Riego (mm)	ETo (mm)	RG (MJ m ⁻² día ⁻¹)	RFA	T Med (°C)
Diciembre *	39	0	63	23,9	10,8	23,8
Enero	183	97	146	20,7	9,3	22,7
Febrero	59	10	106	19,2	8,6	20,8
Marzo	119	61	92	16,5	7,4	19,0
Abril	27	12	68	12,9	5,8	17,2
Mayo **	0	0	5	10,0	4,5	12,4
Total	428	180	480	----	---	---

b) Peso seco Total, Radiación Fotosintéticamente Activa Interceptada y Eficiencia en el uso de la Radiación

No se encontraron interacciones significativas densidad × dosis de nitrógeno para las variables PST, RFAI y EUR (**Tabla 3**). El Peso Seco Total (PST) no presentó diferencias significativas para ninguno de los factores en estudio. La RFAI durante el periodo de emergencia a madurez fisiológica, presentó diferencias significativas para el factor densidad, siendo mayor en un 5% en la densidad más alta. En el caso del factor dosis de N, no se presentaron diferencias. La EUR, no presentó diferencias significativas entre densidades y niveles de N. Sinclair y Muchow (1999) en su análisis de comparación la EUR reportada en muchos experimentos por otros autores, en resumen dicen que la EUR máxima para el maíz es consistente en el rango de 1,6 a 1,7 g MJ⁻¹ durante el crecimiento vegetativo y la EUR durante el crecimiento reproductivo disminuye de tal manera que la EUR estacional varía de 1,3 a 1,7 g MJ⁻¹. Dichos autores expresan la EUR teniendo en cuenta la RG, si a los valores encontrados en nuestro experimentos se los expresa

de esta forma, utilizando una conversión de 0,45, se obtienen valores de 1,62 y 1,66 g MJ⁻¹, los cuales están dentro del rango de EUR reportados.

Tabla 3: Densidad, Dosis de N, Peso Seco Total a Madurez fisiológica (PST) , Radiación Fotosintéticamente Activa Interceptada (RFAI_{E-MF}) y Eficiencia en el Uso de la Radiación (EUR).

Densidad (Plantas m ⁻²)	Dosis de N (Kg ha ⁻¹)	PST [MF] (g m ⁻²)	RFAI _{E-MF} MJ m ⁻²	EUR (g MJ ⁻¹)
4	—	2561 a	726 b	3,6 a
8	—	2848 a	764 a	3,7 a
—	0	2584 a	735 a	3,6 a
—	100	2697 a	750 a	3,6 a
—	200	2832 a	749 a	3,8 a
	0	2566	714	3,6
4	100	2424	726	3,4
	200	2694	738	3,7
	0	2603	757	3,5
8	100	2970	774	3,9
	200	2971	760	3,9
D x N		ns	ns	ns

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

D×N: Interacción densidad por nivel de N. ns: No significativa

Analizando la Fracción de Intercepción a los largo del ciclo para los distintos tratamientos, se observa que en general la menor densidad presentó en cada medición un menor valor, esto explicaría las diferencias entre las RFAI_{E-MF}, donde se obtuvo una menor Radiación acumulada en la menor densidad, sin embargo, estas diferencias en los porcentajes de intercepción no son tan grandes, teniendo en

cuenta que la densidad menor es la mitad con respecto a la de 8 plantas m⁻² (**Fig. 2**). Esto puede deberse a la aparición de macollos que generan estructuras vegetativas adicionales que incrementan el Índice de área foliar y mejoran la captura de luz en baja densidad. Por otro lado, el nivel de N tampoco mejoró la captura, seguramente porque el suministro de N fue alto desde comienzos de ciclo como se muestra en la Tabla de fertilidad (Tabla 1). Este análisis es aplicable también para los resultados de PST, donde tampoco se presentan diferencias entre los factores analizados. En este caso, la presencia de macollos en la baja densidad, pudo aumentar la producción de biomasa total y no se presentaron diferencias con la densidad más alta, aun siendo la densidad menor, la mitad. Esto coincide con lo que dijo Massigoge et al., (2022) que bajo condiciones óptimas de alta disponibilidad de recursos por planta, los cultivos macolladores pueden aumentar la producción de biomasa al incrementar la intercepción de la radiación fotosintéticamente activa (RFAi), debido a un mayor índice de área foliar.

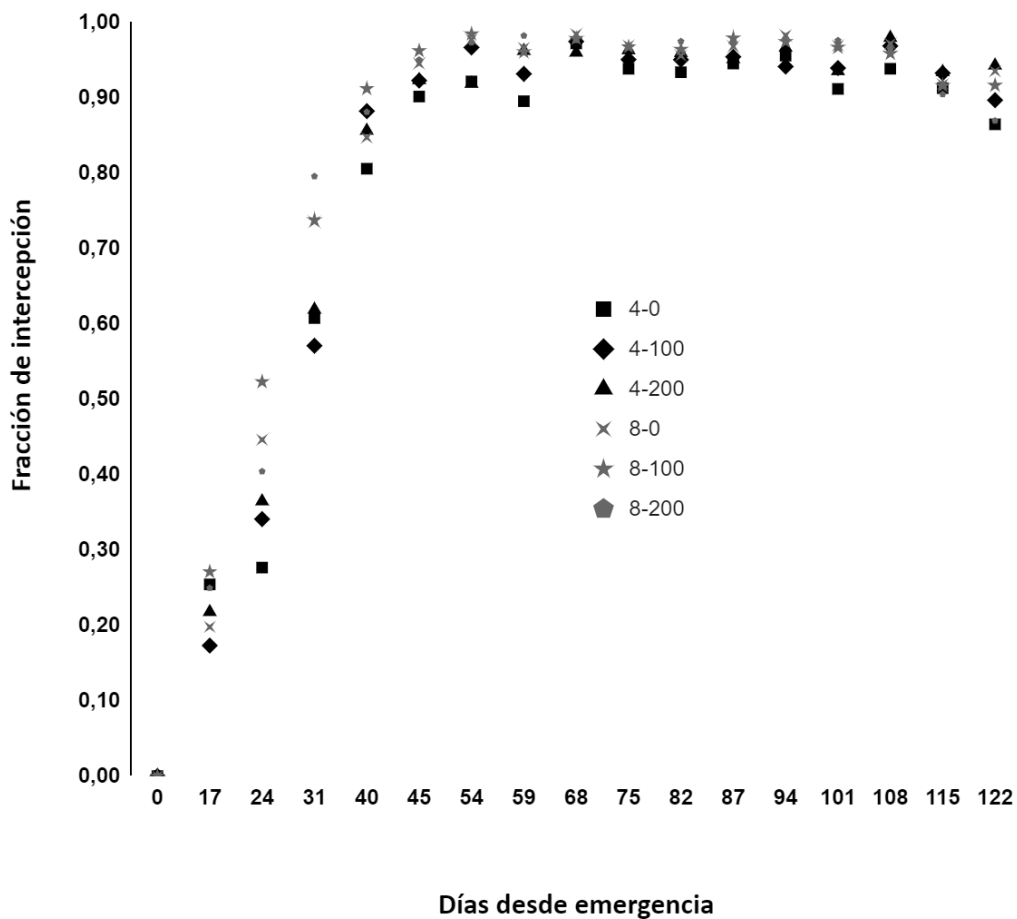


Fig. 2: Fracción de intercepción en función a días desde la Emergencia.

c) Rendimiento, Rendimiento en Tallo Principal y Rendimiento en Macollos, Peso del grano, Número de granos e Índice de cosecha

No se encontraron interacciones significativas Densidad × Nivel de N para ninguna de las variables presentadas en la Tabla 4. El rendimiento presentó diferencias significativamente tanto para el factor densidad como en el factor Dosis de N.

A densidades de 8 plantas m⁻² el rendimiento fue de 8,6 % mayor que en la densidad de 4 plantas m⁻². Se lograron diferencias significativas con rendimientos mayores en un 9,1 %, para los niveles 100 N y 200N, con respecto al 0 N (**Tabla 4**,

Fig. 3). Como ya se mencionó, el rendimiento presenta escasa estabilidad frente a variaciones en la densidad de plantas y ésta puede ser incrementada en la medida que mejora la oferta de recursos del ambiente. Esto se evidenció en el experimento ya que el rendimiento no fue estable ante cambios en la densidad, y se obtuvo un mayor rendimiento a mayor densidad, dado por las buenas condiciones de ambiente. Lo mismo aplica para los resultados de los Niveles de N, donde una mayor disponibilidad de N incrementó el rendimiento, aunque no hubo diferencias entre las dosis más altas de N, probablemente por los altos Niveles de N disponibles a la siembra influenciados por el cultivo antecesor. Salvagiotti et. al.,(2014) en su análisis del efecto de cultivos antecesores encontró que las mayores respuestas a la fertilización se observaron cuando trigo fue el cultivo antecesor y las menores cuando el antecesor fue arveja. Sin embargo, la magnitud de la respuesta fue distinta en los sitios estudiados, aún con el mismo antecesor.

El rendimiento proveniente del tallo principal, para la densidad de 8 plantas m^{-2} fue un 33,6 % más que el logrado en la menor densidad. La densidad de 4 plantas m^{-2} presentó macollos que aportaron 18,7 % al rendimiento total, y la densidad de 8 pl m^{-2} , no presentó aportes en el rendimiento por parte de macollos. Para el factor Dosis de N, no hubo diferencias significativas entre sus niveles. Maltese et al., (2022) en un ensayo con 5 híbridos, uno de los cuales es el mismo híbrido de este trabajo, obtuvo un 3 % de aporte al rendimiento por parte de los macollos a una densidad 3,7 plantas m^{-2} , con 90 kg de N ha^{-1} y déficit hídrico alrededor de floración, en la provincia de Entre Ríos. Si bien el aporte de los macollos al rendimiento obtenido por Maltase fue menor al obtenido en nuestro experimento, es de destacar las diferencias hídricas y el diferente ambiente en ambos experimentos. Resultados más similares a los obtenidos en nuestro ensayo, fueron los de Maltese et al., (2021), en sus experimentos con 5 híbridos, uno de los cuales es el Next 22, 6 en Santa Elena (Entre Ríos) 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} obtuvo como resultado en la densidad 3,1 pl m^{-2} y alta disponibilidad de N una contribución al rendimiento total con espigas de macollos del 14 % y un rendimiento similar al de la densidad superior por compensación en espigas de macollos bajo una elevada disponibilidad de N. En la densidad mayor de su ensayo de 6,2 plantas m^{-2} tampoco presentó aportes al rendimiento de parte de los macollos. Tampoco

hubo presencia de macollo para ambas densidades cuando el nivel de N fue 60 kg ha⁻¹. En nuestro experimento, si bien el rendimiento fue mayor en la densidad más alta, fueron rendimientos bastantes similares, si se tiene en cuenta que la densidad se redujo en un 50%. Varios autores han reportado que en condiciones de bajas densidades de siembra se genera una mayor disponibilidad de recursos por planta y esto se combina con una alta relación Rojo/Rojo Lejano en los niveles inferiores del canopeo; mientras que en densidades mayores la menor oferta de recursos por planta y menor calidad de luz impide la generación de macollos fértiles (Casal et al., 1986; Alam et al., 2014; Rotili et al., 2021b).

Respecto al Índice de Cosecha (IC), no se encontraron diferencias significativas entre ningún nivel de cada factor. Rivetti (2007) reportó IC similares, de 0,49 en promedio con variaciones entre 0,41 y 0,53.

La variable NG presentó un 24 % más NG en la densidad más alta. Para las distintas dosis de N no hubo diferencias significativas (**Tabla 4**). La disminución en la densidad de plantas produce aumentos en el peso del grano, y este componente del rendimiento es el que menor variación presenta frente a cambios en la oferta de recursos ambientales (Fischer & Palmer, 1984, Kiniry et al., 1990 en Simón et al., 2018).

El peso individual del grano (PG) fue significativamente mayor en un 14% en la densidad de 4 plantas m⁻² respecto a 8 plantas m⁻². Esta variable no se diferenció entre los niveles de N.

Andrade et al., (1996), encontró resultados con la misma tendencia, en un experimento realizado en Balcarce, la reducción en la densidad de 6 a 2 plantas m⁻², incrementó el número de granos por planta en un 21% y la disminución en la densidad de plantas produjo incrementos en el peso del grano, aunque esta característica presenta escasa posibilidad de ajustes en el rendimiento. En este ejemplo se analiza el número de grano por planta, aplicando esta forma de análisis en nuestro experimento, el incremento en el número de granos por planta fue de un 61% al pasar de 8 a 4 plantas m⁻². Aunque dicho aumento no compensa el menor número de plantas m⁻², obteniéndose un menor número de granos m⁻² en la densidad menor.

Tabla 4 : Densidad, Nivel de N. Rendimiento, Rendimiento en Tallo Principal (TP), Rendimiento en macollo, Peso medio del grano (PG), Número de granos (NG) e Índice de Cosecha (IC).

Densidad (Plantas m ⁻²)	Nivel N (kg ha ⁻¹)	Rto	Rto _{TP} (g m ⁻²)	Rto _{Mac}	PG mg	NG # m ⁻²	IC %
4	—	1333 b	1084 b	249 a	338 a	3395 b	46 a
8	—	1448 a	1448 a	0 b	296 b	4218 a	44 a
—	0	1311 b	1206 a	105 a	314 a	3628 a	45 a
—	100	1439 a	1303 a	136 a	319 a	3896 a	46 a
—	200	1422 a	1289 a	133 a	317 a	3895 a	44 a
	0	1234	1025	209	338	3143	43
4	100	1399	1126	273	337	3571	50
	200	1366	1100	266	338	3470	44
	0	1387	1387	0	290	4113	46
8	100	1479	1479	0	302	4220	43
	200	1478	1478	0	295	4320	43
D x N		ns	ns	ns	ns	ns	ns

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

D×N: Interacción densidad por nivel de N. ns: No significativa

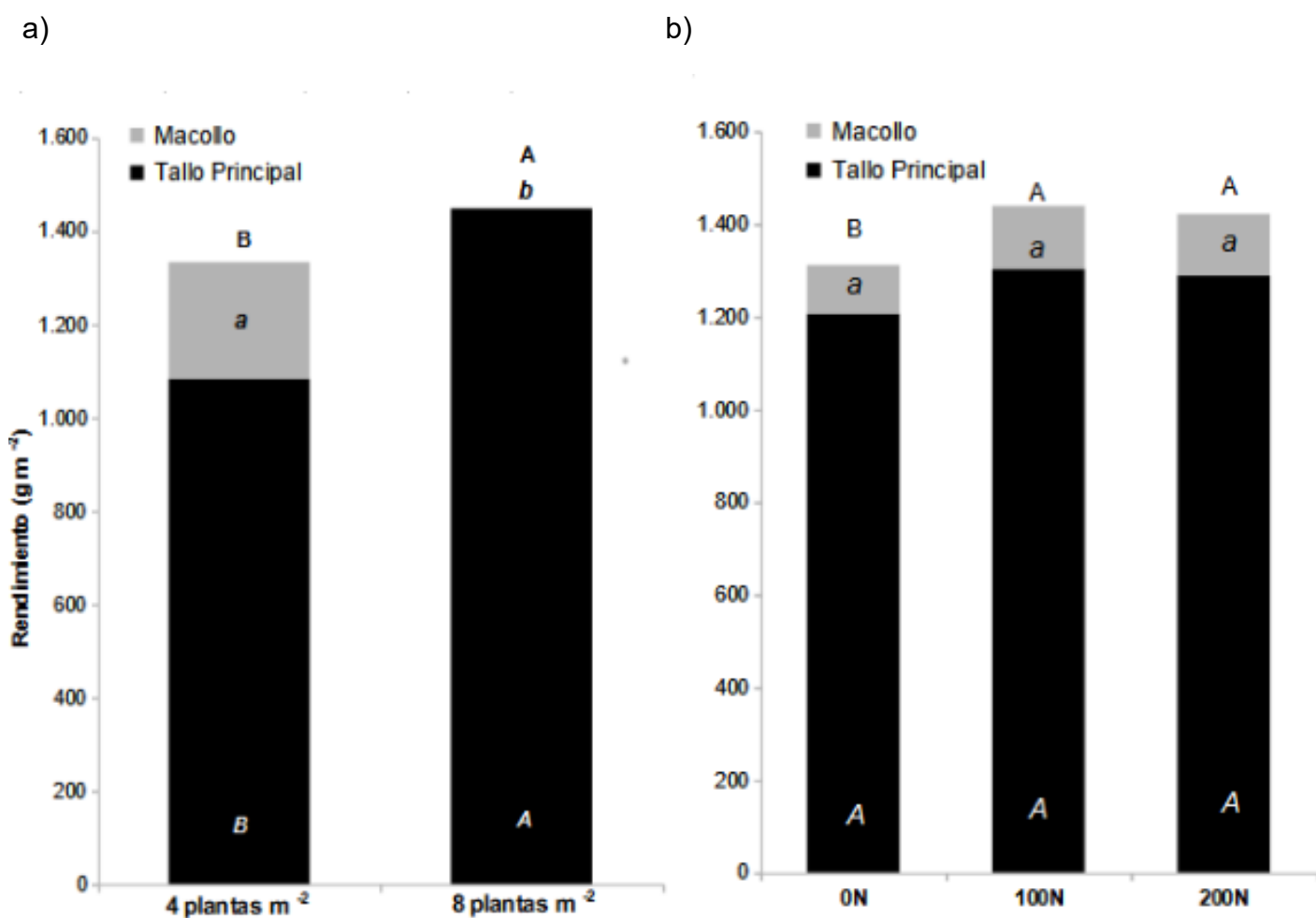


Fig. 3: Rendimiento y contribución al rendimiento de las espigas del tallo principal y de las espigas de los macollos, para el factor densidad (a) y el factor dosis de N (b). Las letras mayúsculas sobre las barras representan los resultados del análisis estadístico de medias del rendimiento, las letras minúsculas representan los resultados del análisis estadístico de medias del rendimiento aportado por los macollos y las letras mayúsculas itálicas los resultados del análisis estadístico de medias del rendimiento aportado por el tallo principal. Las letras comunes no son significativamente diferentes dentro de cada factor ($p > 0,05$).

Analizando el efecto del Número de Grano y del Peso del Grano, sobre el rendimiento en donde se obtuvo que el NG es mayor en la densidad más alta, pero a esta densidad el PG es inferior. Lo inverso ocurre en los tratamientos con menor densidad. Esta variabilidad se observa claramente en la figura 4 y 5. Donde se

construyó una regresión lineal simple, utilizando las variables en cuestión como variables regresoras, discriminando por tratamientos.

La variable número de granos por metro cuadrado es el componente del rendimiento que más influye (**fig. 4**) para el cual, en este experimento, se tuvo un coeficiente de determinación de 0,68. Es decir que el NG, explica en un 68% el rendimiento obtenido y presenta una pendiente positiva en la Función de Regresión Lineal. Mientras que el Peso del Grano (PG) presenta un coeficiente de determinación del 0,13. El rendimiento disminuyó a medida que aumentó el PG (**fig. 5**). Cárcova et., al (2003) mostraron coeficiente de determinación entre el NG y el rendimiento de 0,75 y 0,76 para híbridos de diferentes PG y afirman que en maíz el número de granos está más asociado al rendimiento que el peso de los mismos.

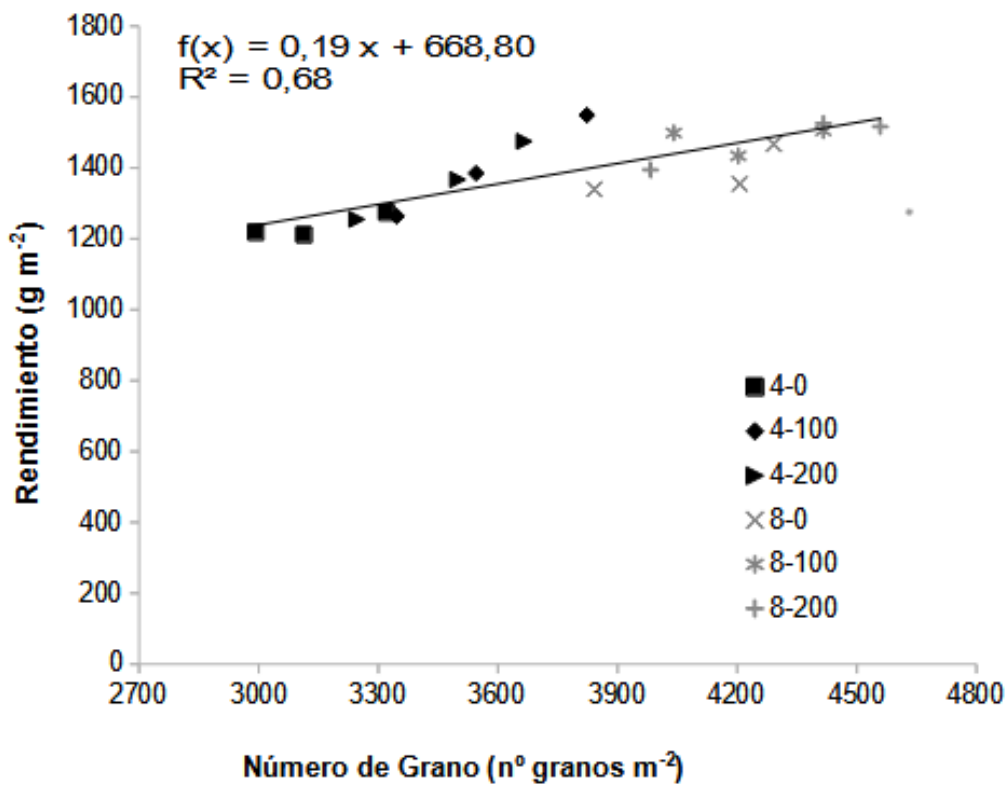


Figura 4: Rendimiento según el número de granos por metro cuadrado. Recta y función de la Regresión Lineal Simple.

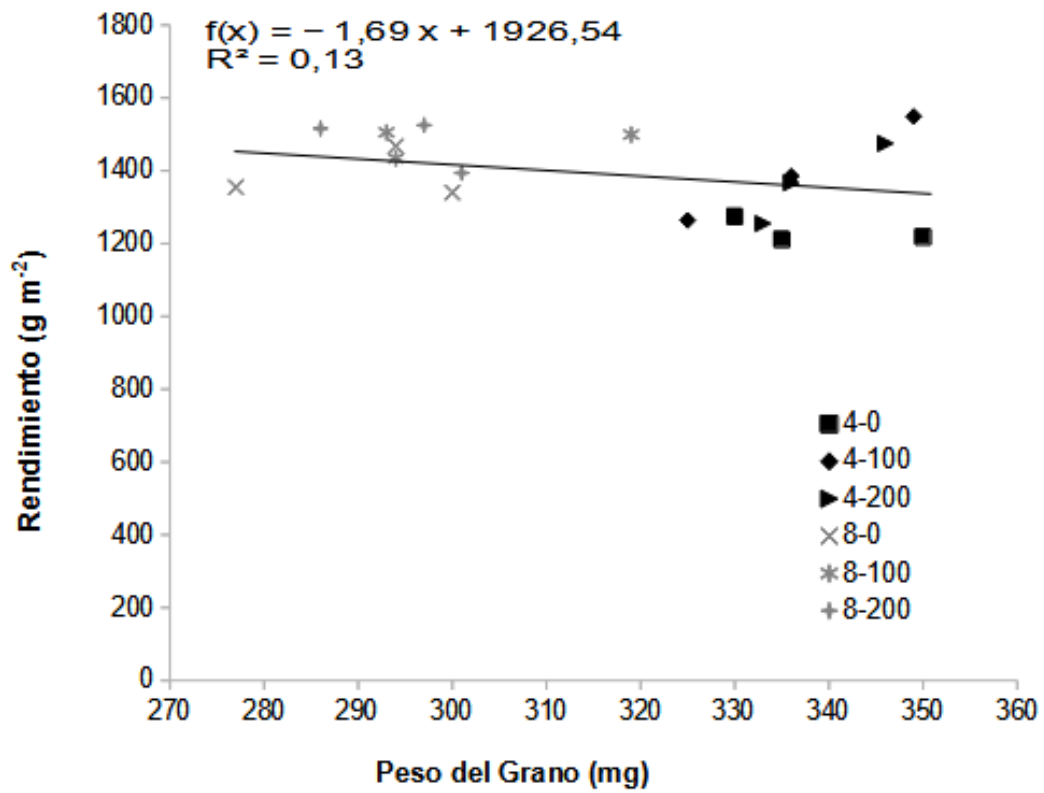


Figura 5: Rendimiento según el peso del grano. Recta y función de la Regresión Lineal Simple.

CONCLUSIÓN

Bajo la situación planteada del cultivo bajo riego con dos densidades de plantas 4 y 8 pl m⁻², con tres niveles de N, 0, 100, 200 kg N ha⁻¹ y para el híbrido Next 22,6, la densidad mayor y las dosis mayores de N obtuvieron el mayor rendimiento. Si bien la baja densidad presentó macollos fértiles que aportaron al rendimiento, esto no alcanzó para igualar al rendimiento obtenido en la mayor densidad. Pero hace evidente que sin la presencia de los mismos, la penalización en el rendimiento hubiera sido mayor, ya que las diferencias de rendimiento de los tallos principales fue de un 33,6 % frente a un 8,6 % de diferencias en el rendimiento total. Estos resultados nos lleva a aceptar nuestra hipótesis la cual plantea que, en ambientes sin limitaciones de agua, la mejora del rendimiento debe combinar mayor densidad con mayor oferta de nitrógeno y que la utilización de genotipos con algún grado de plasticidad (macollaje) puede generar que la penalización sobre el rendimiento sea menor en situaciones de baja densidad. Si bien el macollaje afectó positivamente el rendimiento, generando que la penalización sobre el mismo fuera menor en situación de baja densidad, esta compensación no fue suficiente para igualar el rendimiento de la mayor densidad, concluyendo que el mejor resultado se da por el ajuste de la densidad y no por su plasticidad, bajo las condiciones dadas para este híbrido.

El hecho de que no se evidenciaron diferencias para el rendimiento entre los niveles más altos de N, ni que se presentaran diferencias en la mayoría de las variables analizadas pudo deberse al alto nivel de nitrógeno a la siembra, influenciados posiblemente por tener como cultivo antecesor a la arveja. Si bien nuestra hipótesis planteaba que en ambientes sin limitaciones de agua, la mejora del rendimiento debe combinar mayor densidad con mayor oferta de nitrógeno, esto se obtuvo, pero la mayor dosis no presentó una respuesta superior a la dosis de 100 kg de N ha⁻¹, probablemente por lo mencionado anteriormente. Y es por esto que se consideró que se cumple la hipótesis.

AGRADECIMIENTOS

A la cátedra de Cereales y Oleaginosas de FCA-UNC y, en particular al Ing. Agr. Marcelo Cantarero y Ing. Agr. Sergio Luque por su ayuda en todo el seguimiento del experimento.

BIBLIOGRAFÍA

- Alam, M.M., Hammer, G.L., van Oosterom, E.J., Cruickshank, A.W., Hunt, C.H. y Jordan, D.R. (2014). A physiological framework to explain genetic and environmental regulation of tillering in sorghum. *New Phytologist*, 203 (1), 155-167. <https://doi.org/10.1111/nph.12767>
- Andrade F.; Cirilo, A.; Uhart, S.; Ortegui M.; (1996); *Ecofisiología del cultivo del Maíz*. La Barrosa.
- Andrade, F. H., Vega, C., Uhart, S., Cirilo, A., Cantarero, M., & Valentinuz, O. (1999). Kernel number determination in maize. *Crop Science*, 39(2), 453-459.)
- Calviño, P., Monzon, J., 2009. Farming systems of Argentina: yield constraints and risk management. En: Sadras, V.O., Calderini, D.F. (Eds.), *Crop physiology: Applications for genetic improvement and agronomy*. Academic Press, pp. 55-70.
- Cantarero, M.G., Luque, S.F., Canal, G., Zgrablich, S. y Viotti, G. (2020). Rendimiento del cultivo de maíz tardío ante la modificación de la oferta hídrica y el momento y dosis de aplicación de Nitrógeno. *Nexo Agropecuario. Volumen 8(2)*,65-69. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/nexoagro/article/view/30520>
- Cantarero, M. G., Luque, S. F., & Rubiolo, O. J. (2000). Efecto de la época de siembra y la densidad de plantas sobre el número de granos y el rendimiento de un híbrido de maíz en la región central de Córdoba (Argentina). *Agriscientia*, 17, 3-10. https://www.researchgate.net/profile/M-Cantarero-2/publication/237686825_Efecto_de_la_epoca_de_siembra_y_la_densidad_de_plantas_sobre_el_numero_de_granos_y_el_rendimiento_de_un_hibrido_de_maiz_en_la_region_central_de_Cordoba_Argentina/links/0046353204ee109e60000000/Efecto-de-la-epoca-de-siembra-y-la-densidad-de-plantas-sobre-el-numero-de-granos-y-el-rendimiento-de-un-hibrido-de-maiz-en-la-region-central-de-Cordoba-Argentina.pdf
- Cárcova, J., Borrás, L. y Otegui, M.E. (2003). Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y calidad de Maíz. En Satorre, E., Banech Arnold, R., Slafer, G., de la Fuente, E., Mirallas, D., Otegui, M.E. y Savin, R., *Producción de Granos, Bases funcionales para su manejo* (134-163). Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires.
- Casal, J.J., Sanchez, R.A. y Deregibus, V.A. (1986) Effects of plant density on tillering: the relationship with R/FR and the proportion of radiation intercepted per plant. *Environmental and Experimental Botany*, 26 , pp. 365-371. [https://doi.org/10.1016/0098-8472\(86\)90024-9](https://doi.org/10.1016/0098-8472(86)90024-9)
- Cavaglia, H., Carraro, F., Tula, A., Luque, S. y Cantarero, M. (2018). Efecto de la presencia de macollos en la definición del rendimiento del cultivo de maíz. XXXII Reunión Argentina de Fisiología Vegetal y XVI Congreso Latinoamericano de Fisiología Vegetal. Pp. 131-132.

- Colazo J.C. (2015) Nutrición mineral y fertilización. Aspectos generales. En J.A Garay y J.C. Colazo (Eds.), *El cultivo de maíz en San Luis* (pp 73-85). Inta Ediciones. [eSearchgate.net/profile/Juan-Colazo/publication/281273477_El_cultivo_de_maiz_en_San_Luis/links/55dde7a308ae79830bb5807d/El-cultivo-de-maiz-en-San-Luis.pdf#page=13](https://www.researchgate.net/profile/Juan-Colazo/publication/281273477_El_cultivo_de_maiz_en_San_Luis/links/55dde7a308ae79830bb5807d/El-cultivo-de-maiz-en-San-Luis.pdf#page=13)
- Dardanelli J., Collino D., Otegui M.E. y Sadras V. 2004. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano. En Satorre, E. H., Benech Arnold, R. L., Slafer, G. A., De la Fuente, E. B., Miralles, D. J., Otegui, M. E., & Savin, R. (2004), *Producción de granos. Bases funcionales para su manejo* (No. F01 AGR 17624). Editorial Facultad Agronomía.
- Dirección Nacional de Agricultura- Dirección de Estimaciones Agrícolas (2023) *Estimaciones Agrícolas*. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. <https://datosestimaciones.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones>
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Florio, E.L., Mercau, J.L., Jobbágy, E.G., Nosoetto, M.D., 2014. Interactive effects of watertable depth, rainfall variation, and sowing date on maize production in the Western Pampas. *Agricultural Water Management* 146, 75-83.
- Giménez, R., Mercau, J.L., Houspanossian, J., Jobbágy, E.G., 2015. Balancing agricultural and hydrologic risk in farming systems of the Chaco plains. *Journal of Arid Environments* 123, 81-92.
- Golik, S.I y Fleitas M.C. (2018) Maíz: fertilización y rotaciones. En M.R Simón y S.I Golik (Ed.), *Cereales de Verano* (57-74) Universidad Nacional de La Plata.
- Golik, S. I; Larran, S; Gerard, G.S. Fleitas, M. C; (2018) Maíz: Importancia, origen, sistemática, morfología y composición química; En M.R Simón y S.I Golik (Ed.), *Cereales de Verano* (10-32) Universidad Nacional de La Plata.
- INTA y Gobierno de la provincia de Córdoba. Cartas de suela- Escala de reconocimiento. Ministerio de Finanzas- Córdoba. <https://mapascordoba.gob.ar/viewer/#/mapa/378>
- Luque, S. F., Cirilo, A. G., & Otegui, M. E. (2006). Genetic gains in grain yield and related physiological attributes in Argentine maize hybrids. *Field Crops Research*, 95(2-3), 383-397. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378429005000912?via%3Dihub>
- Magliano, P.N., Fernández, R.J., Mercau, J.L., Jobbágy, E.G., 2014. Precipitation event distribution in Central Argentina: Spatial and temporal patterns. *Ecology* 8 (1), 94- 104.

- Maltese N. E.; Michelin C.I.; Melchiori R.J.M.; Densidad y mecanismos de plasticidad para el maíz en escenarios climáticos inciertos. INTA.
- Maltese, N., Melchiori, R. J., Kunzi, E. Y., Modon, G., Karst, E., & Novelli, L. E. (2021). *Maíz en baja densidad como estrategia para sortear ambientes limitantes*. Estación Experimental Agropecuaria Paraná, INTA. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/10254>
- 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. <https://doi.org/10.1002/csc2.20827>
- Mercou, J.L., Otegui, M.E., 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. American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc., and Soil Science Society of America, Inc., Madison, WI, pp. 351-374.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. Gobierno de la Provincia de Córdoba. (s.f) *Omixon, El Poder de las Redes Climáticas*. <https://magya.omixom.com/>
- Rossi, D.; (2007) Evolución de los cultivares de maíz utilizados en la Argentina. Agromensajes de la facultad. Repositorio Hipermedial de la Universidad Nacional de Rosario(36)03-10. <https://core.ac.uk/reader/61696431>
- Rotili, D. H. (2022) *El cultivo de maíz en ambientes marginales: bases ecofisiológicas y mecanismos de plasticidad asociados al macollaje* [Tesis de doctorado]. Universidad de Buenos Aires.
- Rivetti, A. R. (2007). Producción de maíz bajo diferentes regímenes de riego complementario en Río Cuarto, Córdoba, Argentina. II. Producción de materia seca. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 39(1), 29-39. <https://www.redalyc.org/pdf/3828/382837653004.pdf>
- Rotili, D.H., Abeledo, L.G., deVoil, P., Rodriguez, D. y Maddonni, G.A. (2021) Exploring the effect of tillers on the water economy, plant growth and kernel set of low-density maize crops. *Agric. Water Manag.*, 243, 106424. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106424>
- Rotili, D. H., Sadras, V. O., Albedo, L.G., Ferreyra, J.M., Micheloud, J.R., Duarte, G., Girón, P., Ermácora, M. y Maddonni, G.A. (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>
- Salvagiotti, F., Ferraguti, F., Enrico, J., & Prieto, G. (2014). Fertilización nitrogenada en maíz de fecha tardía según cultivo antecesor. *Informe de actualización técnica*.

EEA Marcos Juárez, 31.

<https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-fertilizacion-nitrogenada-maiz-tardio-segun-cult.pdf>

- Salvagiotti, F.; JM Castellarin; FJ Ferraguti & HM Pedrol. 2011. Dosis óptima económica de nitrógeno en maíz según potencial de producción y disponibilidad de nitrógeno en la región pampeana norte. *Ciencia del Suelo* 29:199-212
- Sinclair, T. R., y Muchow, R. C. (1999). Radiation use efficiency. *Advances in agronomy*, 65, 215-265. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60914-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60914-1)
- Vega C., Razquin, C., Santillán Hatala, C. y Ogando, F. (2017). Marco conceptual para la interpretación eco-fisiológica de la respuesta del maíz a la fecha de siembra. En Borrás L. y Uhart S (eds), *El mismo maíz, un nuevo desafío* (9-36). Dow Agrosciences.
<http://www.maizar.org.ar/documentos/el%20mismo%20maiz,%20un%20nuevo%20desafio.pdf>