



DOSIS DIVIDIDAS DE NITRÓGENO MEJORAN LA EFICIENCIA EN EL USO DE LA RADIACIÓN DURANTE LA POST-FLORACIÓN EN MAÍZ DE SEGUNDA BAJO RIEGO

Autores: Rossi, F.A.¹; Defilipis, C.²; Vega, C.R.C.³

¹Universidad Nacional de Luján, Departamento de Tecnología, RN 5 y Av. Constitución, Luján, Buenos Aires, Argentina, francoangelrossi@hotmail.com

²Universidad Nacional de Luján, Departamento de Tecnología, RN 5 y Av. Constitución, Luján, Buenos Aires, Argentina, cdefilipis@gmail.com

³INTA EEA Manfredi, RN 9 km 636, Manfredi, Córdoba, Argentina, vega.claudia@inta.gob.ar

SPLIT NITROGEN DOSES IMPROVE RADIATION USE EFFICIENCY DURING POST-FLOWERING IN SECOND-CROP MAIZE UNDER IRRIGATION

Abstract

Second-crop maize is strategic in intensified systems, though environmental challenges like low irradiance and temperature can compromise yields. Split nitrogen (N) application synchronizes supply and demand, improving radiation capture and use efficiency (RUE). This study evaluated split N fertilization effects on radiation capture, RUE, and yield in second-crop maize following wheat or pea. Experiments were conducted under fertirrigación over two seasons in Luján, Argentina, using four fertilization schemes: unfertilized (SF), single (V4), double (V4-V14), and triple application (V4-V14-R2), with a target N level of 330 kg ha⁻¹.

Interception efficiency ranged from 78% (SF) to 96% (N-fertilized), reflecting the impact of N on leaf area index. Fertilization increased kernel number per area, green leaf area duration, capture and use of radiation. Yields varied between 7668 and 15172 kg ha⁻¹. Following wheat, double-split N increased yield by 6822 kg ha⁻¹ over SF. Following pea, triple splitting added a 1497 kg ha⁻¹ surplus. Notably, post-flowering RUE decreased in SF and single-dose treatments but increased from 3.0 to 3.6 g MJ⁻¹ with triple splitting. These findings highlight that split N management is useful to stabilize biological efficiency and maximize productivity in double-crop systems.

Palabras clave: manejo del nitrógeno; sistema de doble cultivo; duración del área foliar verde.

Keywords: nitrogen management, double-crop system, green leaf area duration.

Introducción

El maíz tardío se ha consolidado como una estrategia fundamental en la región Pampeana para mejorar la estabilidad interanual de los rendimientos en sistemas de secano (Mercau y Otegui, 2014). No obstante, su rendimiento potencial suele ser menor al de siembras tempranas debido a que el retraso en la fecha de siembra expone al cultivo a condiciones ambientales menos favorables durante el período crítico y en especial, durante el llenado de granos (Cirilo y Andrade, 1994). En particular, la menor temperatura y radiación solar durante la post-floración se asocian con menor relación fuente-destino y peso de granos (PG) (Cirilo y Andrade, 1996; Bonelli et al., 2016). Se ha



documentado caída en la eficiencia en el uso de la radiación (EUR) post-floración en comparación con las fases vegetativas (Bonelli et al., 2016). Por otro lado, se ha destacado la importancia de la buena provisión de asimilados en post-floración debido al mayor número de granos (NG) que pueden fijar los híbridos modernos de maíz (Fernandez et al., 2022; Moises et al., 2024).

Los sistemas productivos intensificados han sido ampliamente adoptados a nivel global, logrando mayores niveles de productividad de la tierra, del agua, de la radiación y de los nutrientes (Andrade, 2020). En la región pampeana argentina, se han evaluado diferentes configuraciones de cultivos que combinan especies invernales con cultivos estivales de segunda (Andrade et al., 2015). No obstante, si bien la intensificación sostenible ha permitido avances significativos en términos de captura de recursos, la eficiencia en su uso sigue siendo un desafío pendiente (Andrade et al., 2015; Caviglia y Andrade, 2010). En este contexto, el maíz tardío de segunda bajo riego complementario representa un sistema ideal para estudiar estos procesos.

El nitrógeno (N) es un nutriente esencial que influye tanto en la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) como en el mantenimiento de la capacidad fotosintética (Andrade et al., 1996; Contreras Rendón et al., 2012; Uhart y Andrade, 1995). Una disponibilidad limitada de N en fases avanzadas induce una removilización excesiva de reservas, provocando la pérdida prematura del área foliar verde y reduciendo el rendimiento (Chen et al., 2015; Fernandez et al., 2020; Moises et al., 2024).

El maíz de segunda sembrado sobre rastrojo de leguminosas invernales tiene en general buenos rendimientos debido a un mejor estado hídrico y de nitratos disponibles para afrontar deficiencias en el período crítico (Ferraris et al., 2012). Sin embargo, la siembra de maíz sobre antecesor trigo es frecuente, especialmente cuando el agua disponible para la especie invernal favorece su cultivo. Es esperable, por ende, que el cultivo antecesor modifique la respuesta a la fertilización, en especial considerando el alto rendimiento potencial (sin limitación hídrica) que pueden alcanzar los genotipos modernos de maíz. Por otro lado, aplicaciones divididas de nitrógeno durante el ciclo del cultivo podrían mitigar el efecto negativo de la baja radiación solar incidente y la temperatura sobre potenciales disminuciones de la EUR tardía (*i.e.* fase reproductiva).

El objetivo de este trabajo fue evaluar cómo la fertirrigación nitrogenada dividida modula procesos de la generación del rendimiento potencial en maíz de segunda sobre diferentes antecesores. Los objetivos específicos fueron: I) cuantificar la respuesta del rendimiento y sus componentes al fraccionamiento de la dosis de N; II) determinar si dicha respuesta varía según el cultivo antecesor; y III) evaluar el efecto de la fertilización dividida sobre la estabilidad de la EUR en post-floración.

Materiales y métodos

Los experimentos a campo se llevaron a cabo bajo condiciones de fertirrigación durante las campañas agrícolas 2017-18 y 2018-19 en la localidad de Luján, Buenos Aires (34° 35,194' S, 59° 04,864' O), sobre un suelo Argiudol Típico con historial de rotaciones de pasturas y cultivos agrícolas.

Los tratamientos evaluados fueron cuatro: un testigo sin fertilización (SF) y tres tratamientos donde una única dosis de fertilizante nitrogenado fue suministrada en una,

dos o tres aplicaciones: una única aplicación al 100% en el estadio V4, dos aplicaciones en V4 y V14 con una proporción de 60-40% y tres aplicaciones divididas en V4, V14 y R2 con una proporción de 30-30-40%. La dosis total de nitrógeno aplicado se calculó para un rendimiento objetivo de 15000 kg ha⁻¹ mediante el modelo de balance de nitrógeno propuesto por Meisinger (1984), variando entre 170 y 214 kg ha⁻¹ según el aporte inicial del suelo tras la cosecha de los antecesores. Se utilizó un diseño de parcelas subdivididas con cuatro repeticiones, donde la parcela principal correspondió al antecesor (trigo variedad Algarrobo vs. arveja variedad Viper) y la sub-parcela al tratamiento de fertilización nitrogenada.

El maíz (híbrido Don Mario 2771 VT Triple Pro) se sembró el 14/12/17 y el 07/12/18 con una densidad de 9 pl m⁻² y un distanciamiento de 0,7 m. La provisión de agua y fertilizante se realizó a partir de un cabezal de riego por goteo y un sistema Venturi. El riego fue programado semanalmente para evitar estrés hídrico (umbral de agotamiento del 55% del agua útil) utilizando el método de Allen et al. (2006) y el software Cropwat 8.0.

A lo largo del ciclo se registraron los estadios fenológicos según escala fenológica de Ritchie y Hanway (1982), con frecuencia de diez días, en cinco plantas identificadas desde emergencia. A partir de V7 y hasta madurez fisiológica, se realizaron siete muestreos de materia seca aérea (secada a 60°C) para estimar las tasas de crecimiento del cultivo en los períodos vegetativo, crítico y reproductivo.

El índice de área foliar (IAF) se determinó, en cada muestreo de materia seca, midiendo largo y ancho de las hojas con un coeficiente de 0,75 (Montgomery, 1911). La duración y funcionalidad del área foliar verde fue valorada a través del IAF acumulado, variable calculada como la integral bajo la curva ajustada entre IAF y tiempo. IAF acumulado desde R2 hasta R6 representa, entonces, la sumatoria del IAF diario alcanzado por el cultivo durante el llenado de granos. Se midió radiación fotosintéticamente activa incidente (RFAi) con un sensor cuántico fotovoltaico modelo PQS1 de Kipp y Zonen y la transmitida (RFAt) con un ceptómetro Decagon Devices AccuPar LP-80. Las mediciones se realizaron durante todo el ciclo en el mismo momento de los muestreos de materia seca, se obtuvieron cinco lecturas de cada parcela. La radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAI) por el cultivo se estimó según la diferencia entre RFAi y RFAt (Gallo y Daughtry, 1986). La EUR se determinó como la pendiente de la regresión lineal entre la materia seca acumulada y la RFAI acumulada hasta R1 y desde R1 a R6. En madurez fisiológica, se realizó la cosecha manual en los surcos centrales para determinar el rendimiento (0% humedad), el número de granos y el peso de granos. Los resultados se analizaron estadísticamente mediante ANAVA y modelos lineales mixtos con el software InfoStat (Di Rienzo et al., 2013), considerando al antecesor y la fertilización como efectos fijos, y a la campaña y repetición como efectos aleatorios. Cuando correspondió, se establecieron asociaciones mediante regresiones lineales o no lineales. Para evaluar las diferencias entre la EUR en diferentes períodos, así como su magnitud, se realizó un ANAVA y comparación de medias incluyendo el período como un factor adicional en los modelos. En este caso, los factores fijos fueron antecesor, fertilización y período, mientras que campaña y repeticiones se analizaron como efectos aleatorios.

Resultados

Índice de área foliar y captura de radiación fotosintéticamente activa

Los tratamientos fertilizados alcanzaron IAF máximo de aproximadamente 5,2, superando significativamente a SF que alcanzó 3,7, siendo inferior al IAF crítico (*ca.* 4,5). Particionar la dosis de N en tres momentos prolongó la duración del área foliar verde sobre la aplicación temprana de N, con ambos antecesores (datos no mostrados). La eficiencia de intercepción al momento de la floración varió entre 0,77 y 0,97, registrándose los valores más bajos en los tratamientos sin fertilización, especialmente cuando el antecesor fue trigo (Figura 1). La radiación fotosintéticamente activa interceptada acumulada durante todo el ciclo fue similar entre todos los tratamientos fertilizados (*ca.* 820 MJ m⁻²), mientras que en SF fue significativamente menor (*ca.* 670 MJ m⁻²).

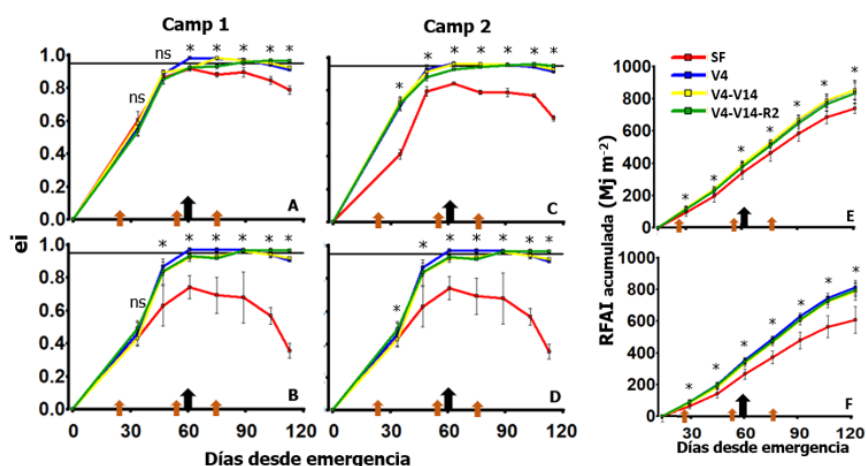


Figura 1. Evolución de la eficiencia de intercepción de la radiación fotosintéticamente activa incidente (*ei*) de un cultivo de maíz de segunda sembrado sobre antecesor arveja (A y C) y trigo (B y D), en dos campañas agrícolas 2017-18 (Camp1) y 2018-19 (Camp2). Evolución de la radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAI) acumulada por el cultivo de maíz (media de dos campañas) en arveja (E) y trigo (F). El cultivo recibió diferentes tratamientos de fertilización nitrogenada: sin fertilización (SF), única fertilización en V4 (V4), fertilización en V4 y V14 (V4-V14), fertilización en V4, V14 y R2 (V4-V14-R2). Las flechas negras indican el estadio fenológico R1. Las flechas marrones indican los momentos de aplicación de N. El símbolo * indica un nivel de significancia de $p < 0,05$; ns indica diferencias no significativas (comparaciones entre tratamientos dentro de cada momento evaluado). Según test LSD de Fischer.

Eficiencia en el uso de la radiación

La EUR no fue constante a lo largo del ciclo (Tabla 1). La EUR post-floración, en comparación con pre-floración, disminuyó en SF (de 3 a 2,4 g MJ⁻¹) o con aplicación única (de 3,4 a 2,5 g MJ⁻¹). En contraste, la EUR se mantuvo constante en el tratamiento con dos fraccionamientos de N (*ca.* 3,2±0,1 g MJ⁻¹) y aumentó en el de tres fraccionamientos (de 3 a 3,58 g MJ⁻¹).

Tabla 1. Análisis de varianza y valores medios de la eficiencia en el uso de la radiación durante periodo, vegetativo, crítico y reproductivo (EUR_{veg} , EUR_{pc} y EUR_{rep} , respectivamente) de un cultivo de maíz de segunda sembrado sobre diferentes antecesores (arveja y trigo) en dos campañas agrícolas 2017-18 y 2018-19. El cultivo recibió diferentes tratamientos de fertilización nitrogenada: sin fertilización (SF), única fertilización en V4 (V4), fertilización en V4 y V14 (V4-V14), fertilización en V4, V14 y R2 (V4-V14-R2).

	EUR_{veg} (g MJ ⁻¹)	EUR_{pc} (g MJ ⁻¹)	EUR_{rep} (g MJ ⁻¹)
	Período vegetativo	Período crítico	Período reproductivo
Fertilización (Fert)			
SF	2,96 C ef	2,78 B fg	2,42 C g
V4	3,40 A bcd	3,72 A ab	2,47 C g
V4-V14	3,28 AB cde	3,82 A a	3,02 B def
V4-V14-R2	3,07 BC def	3,94 A a	3,58 A abc
Análisis de varianza			
Ant	0,0612	0,5678	0,2814
Fert §	0,0028	<0,0001	<0,0001
Ant*Fert	0,4719	0,7950	0,0894
Período		<0,0001	
Ant*Período		0,9254	
Fert*Período §		<0,0001	
Ant*Fert*Período		0,2647	

Letras mayúsculas diferentes en las mismas columnas indican diferencias significativas entre Fert según test LSD de Fischer ($p < 0,05$). Letras minúsculas diferentes en las mismas filas indican diferencias significativas entre Fert*Período según test LSD de Fischer ($p < 0,05$).

§ Para una mejor interpretación sólo se presentan los valores del factor Fert (único factor significativo en sentido vertical) y de la interacción Fert*Período (única interacción significativa en sentido horizontal).

Rendimiento y sus componentes

El rendimiento osciló entre 7668 y 15172 kg ha⁻¹ y estuvo condicionado por la interacción entre el antecesor y la fertilización. El máximo rendimiento se obtuvo con doble división en maíz sobre trigo, y con la triple división en antecesor arveja. Sobre antecesor trigo, el fraccionamiento del N en dos momentos incrementó el rendimiento del maíz en 680 kg ha⁻¹, respecto al SF. Con arveja, la mejora fue de 785 kg ha⁻¹, con un plus de 1497 kg ha⁻¹ al dividirlo en tres aplicaciones. El NG con antecesor arveja fue superior cuando se aplicó N en tres momentos, al comparar con la dosis temprana (ca. 4%), sin diferencia con la doble. Mientras que el PG se vio favorecido con la división de la dosis de N al incrementar la cantidad de particiones de fertilización al comparar con la aplicación temprana (ca. 4 y 10% para las dosis doble y triple, respectivamente). La materia seca total acumulada hasta madurez fisiológica resultó de efectos de la interacción antecesor*fertilización ($p < 0,01$). El tratamiento SF acumuló menor cantidad

de materia seca que los fertilizados (40%), siendo el efecto mayor en trigo (2,5%). Entre tratamientos de fertilización, los resultados indicaron que la aplicación de N en V4 con antecesor arveja produjo la menor biomasa (18%). El índice de cosecha aumentó con la fertilización (ca. 16%) y con antecesor arveja (ca. 4%) (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis de varianza y valores medios del rendimiento (Rto), número de granos (NG), peso del grano (PG), materia seca total en madurez fisiológica ($MS_{total\ mf}$) e índice de cosecha (IC) de un maíz de segunda sembrado sobre diferentes antecesores (arveja y trigo) en dos campañas agrícolas 2017-18 y 2018-19. El cultivo recibió diferentes tratamientos de fertilización nitrogenada: sin fertilización (SF), única fertilización en V4 (V4), fertilización en V4 y V14 (V4-V14), fertilización en V4, V14 y R2 (V4-V14-R2).

		Rto (kg ha ⁻¹)	NG (m ⁻²)	PG (mg grano ⁻¹)	$MS_{total\ mf}$ (g m ⁻²)	IC
Antecesor (Ant)						
	Trigo	12542	4362	283	2408	0.52 B
	Arveja	13155	4550	293	2470	0.54 A
Fertilización (Fert)						
	SF	8491	3417	255	1870	0,47 B
	V4	13742	4677	294	2456	0,55 A
	V4-V14	14475	4872	298	2688	0,54 A
	V4-V14-R2	14686	4858	306	2740	0,54 A
Ant	Fert					
Trigo	SF	7668 F	3071 E	249 D	1719 D	0,45
	V4	13810 CD	4635 BC	297 BC	2572 A	0,53
	V4-V14	14490 B	4927 A	293 C	2710 A	0,54
	V4-V14-R2	14199 BC	4816 AB	294 BC	2634 A	0,54
Arveja	SF	9315 E	3763 D	262 D	2023 C	0,49
	V4	13675 D	4719 BC	291 C	2342 B	0,57
	V4-V14	14460 B	4816 AB	302 B	2668 A	0,54
	V4-V14-R2	15172 A	4901 A	319 A	2846 A	0,55
Análisis de varianza						
	Ant	<0,0001	0,0033	0,0064	0,6175	0,0197
	Fert	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001	<0,0001
	Ant*Fert	<0,0001	0,0082	0,0022	0,0109	0,3257

Letras diferentes en las mismas columnas indican diferencias significativas según test LSD de Fischer ($p < 0,05$).

Discusión

El rendimiento máximo obtenido en la mejor combinación de fertilización y antecesor en este estudio (*i.e.* 15172 kg ha⁻¹) desafía la premisa de que el maíz tardío posee un potencial de rendimiento bajo debido al deterioro del ambiente fototérmico durante el llenado de granos, citado en diferentes estudios (Cirilo y Andrade, 1994; Otegui et al., 1995). Los resultados demuestran que, bajo condiciones de fertirrigación nitrogenada, es posible cerrar las brechas de rendimiento al asegurar un estatus nutricional óptimo que soporte la demanda de los híbridos modernos, independientemente de la fecha de siembra.

La RFAI acumulada en todos los tratamientos fertilizados indica que el suministro sostenido de N a través de fertirrigación permite compensar esas deficiencias iniciales y alcanzar una estructura de canopeo óptima para la captura de radiación.

La fertilización provocó mayor variación de NG que del PG (ca. 60 vs. 18 % y 30 vs. 22 % para trigo y arveja, respectivamente), al comparar los valores máximos de los tratamientos fertilizados frente al SF.

Este estudio aporta evidencia novedosa sobre la modulación de la EUR en el tiempo mediante la fertilización dividida. Mientras que literatura reciente documenta caídas de la EUR post-floración en maíces tardíos realizados en latitudes superiores (ca. 37°) (Bonelli et al., 2016), los resultados de este estudio demuestran que el fraccionamiento en tres momentos no solo mitiga este descenso, sino que eleva la EUR post-floración, posiblemente como consecuencia de un mayor número de granos fijado y peso potencial. Esto confirma que la EUR en el llenado de granos no depende exclusivamente del ambiente, sino que es altamente sensible al estatus nutricional del cultivo.

Los resultados de este estudio demuestran que la aplicación dividida genera incrementos significativos del rendimiento de maíz de segunda bajo condiciones de riego complementario a través de su efecto sobre el número de granos, y en menor medida el peso de granos. Este beneficio, sin embargo, depende estrictamente de la interacción entre el cultivo antecesor y la fertilización, lo que subraya la importancia de ajustar el manejo a la dinámica específica de cada sistema.

Conclusión

El presente trabajo demuestra que es posible alcanzar altos rendimientos potenciales en maíz de segunda mediante el manejo del N en forma particionada. La fertilización nitrogenada incrementó el rendimiento hasta 85% (antecesor trigo) y 52% (antecesor arveja) en comparación a los cultivos no fertilizados, a través de mejoras en la captura y uso de la radiación solar y determinación de destinos reproductivos. En particular, la fertirrigación dividida evitó la disminución de la eficiencia en el uso de la radiación post-floración, mitigando las limitaciones impuestas por el ambiente en períodos reproductivos.

Apoyo financiero

El presente trabajo fue financiado mediante proyectos de investigación del Departamento de Tecnología de la Universidad Nacional de Luján y una beca de ayuda económica para la finalización de doctorado en el marco del Programa Doctorar 2023, Universidad Nacional de Luján

Referencias bibliográficas

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., y Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos* (FAO, Ed.). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Andrade, F. H. (2020). Los desafíos de la agricultura global.

- Andrade, F. H., y Ferreiro, M. A. (1996). Reproductive growth of maize, sunflower and soybean at different source levels during grain filling. *Field Crops Research*, 48(2-3), 155-165.
- Andrade, J. F., Poggio, S. L., Ermácora, M., y Satorre, E. H. (2015). Productivity and resource use in intensified cropping systems in the Rolling Pampa, Argentina. *European Journal of Agronomy*, 67, 37-51.
- Bonelli, L. E., Monzon, J. P., Cerrudo, A., Rizzalli, R. H., y Andrade, F. H. (2016). Maize grain yield components and source-sink relationship as affected by the delay in sowing date. *Field Crops Research*, 198, 215-225.
- Caviglia, O. P., y Andrade, F. H. (2010). Sustainable intensification of agriculture in the Argentinean Pampas: capture and use efficiency of environmental resources. *Am. J. Plant Sci. Biotechnol*, 3(1), 1-8.
- Chen, K., Kumudini, S. V., Tollenaar, M., y Vyn, T. J. (2015). Plant biomass and nitrogen partitioning changes between silking and maturity in newer versus older maize hybrids. *Field Crops Research*, 183, 315-328. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.08.013>
- Cirilo, A. G., y Andrade, F. H. (1994). Sowing Date and Maize Productivity: I. Crop Growth and Dry Matter Partitioning. *Crop Science*, 34(4), 1039-1043. <https://doi.org/10.2135/cropsci1994.0011183X003400040037x>
- Cirilo, A. G., y Andrade, F. H. (1994). Sowing Date and Maize Productivity: I. Crop Growth and Dry Matter Partitioning. *Crop Science*, 34(4), 1039-1043. <https://doi.org/10.2135/cropsci1994.0011183X003400040037x>
- Cirilo, A. G., y Andrade, F. H. (1996). Sowing Date and Kernel Weight in Maize. *Crop Science*, 36(2), 325-331. <https://doi.org/10.2135/cropsci1996.0011183X003600020019x>
- Contreras Rendón, A., Martínez Rueda, C. G., y Estrada Campuzano, G. (2012). Eficiencia en el uso de la radiación por híbridos de maíz de Valles Altos de México. *Revista fitotecnica mexicana*, 35(2), 161-169.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M., y Robledo, C. (2013). InfoStat versión 2013, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Fernandez, DeBruin, J., Messina, C., y Ciampitti, I. (2020). Late-season nitrogen fertilization on maize yield: A meta-analysis [Article]. *Field Crops Research*, 247, Article 107586. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107586>
- Fernández, J. A., Messina, C. D., Salinas, A., Prasad, P. V. V., Nippert, J. B., y Ciampitti, I. A. (2022). Kernel weight contribution to yield genetic gain of maize: a global review and US case studies. *Journal of Experimental Botany*, 73(11), 3597-3609. <https://doi.org/10.1093/jxb/erac103>
- Ferraris, G., y Couretot, L. (2012a). Fertilización nitrogenada en maíz bajo tres escenarios productivos. Eficiencia, efectos de la fuente y uso de inhibidores. . In F. Mousegne (Ed.), *Maíz. Resultados de experiencias: Campaña 2012* (pp. 145-150). INTA Pergamino.
- Gallo, K., y Daughtry, C. (1986). Techniques for measuring intercepted and absorbed photosynthetically active radiation in corn canopies. *Agronomy journal*, 78(4), 752-756.
- Meisinger, J. (1984). Evaluating plant-available nitrogen in soil-crop systems. *Nitrogen in crop production(nitrogenincropp)*, 391-416.
- Mercau, J. L., y 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. In *Practical Applications of Agricultural System Models to Optimize the Use of Limited Water* (pp. 351-374). American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc., and Soil Science Society of America, Inc. <https://doi.org/10.2134/advagricsystmodel5.c13>
- Moises, C., Andrade, F. H., Monzon, J. P., Calvo, N. I. R., y Cerrudo, A. (2024). Nitrogen deficiency in maize fields of the Southern Pampas does not affect kernel number but reduces weight per kernel. *Field Crops Research*, 312, 109394.
- Otegui, M. E., Andrade, F. H., y Suero, E. E. (1995). Growth, water use, and kernel abortion of maize subjected to drought at silking. *Field Crops Research*, 40(2), 87-94. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/0378-4290\(94\)00093-R](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/0378-4290(94)00093-R)
- Ritchie, y Hanway. (1982). How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology Coop. Ext. Services. Ames. *Special Report*, 48, 24.
- Uhart, S. A., y Andrade, F. H. (1995). Nitrogen Defeciciency in Maize: I. Effects on Crop Growth, Development, Dry Matter Partitioning, and Kernel Set. *Crop Science*, 35(5), 1376-1383. <https://doi.org/10.2135/cropsci1995.0011183X003500050020x>