

¿CUÁL ES LA DOSIS ÓPTIMA ECONÓMICA DE NITRÓGENO EN MAÍZ TARDÍO? ¿DIFIERE ENTRE ANTECESORES?

Paula Girón^{1*}, Miriam Barraco¹, Fernando Scliar²

¹EEA INTA General Villegas

²Asesor Privado

*barraco.miriam@inta.gov.ar

PALABRAS CLAVE:

rendimiento, vicia, trigo/soja.

INTRODUCCIÓN

En el noroeste bonaerense el maíz tardío ha ido aumentando su superficie durante los últimos años, debido fundamentalmente a su mayor estabilidad en los rendimientos por un balance hídrico más favorable alrededor de floración (Maddoni, 2012). Por otro lado, varios son los trabajos que demuestran que el requerimiento de nitrógeno (N) en fechas de siembra tardía es menor respecto a fechas de siembra tempranas (Melchiorri & Caviglia, 2008; Mercou & Otegui, 2014) como consecuencia de un mayor contenido de N-nitrato (N-NO₃) al momento de la siembra (Orcellet et al., 2017).

En mayor medida el maíz es implantado sobre lotes que tienen como antecesores soja de primera o trigo/soja de segunda pero más recientemente se han diseñado sistemas de producción donde el cultivo es implantado luego de un cultivo de cobertura (CC) como vicia. Esta leguminosa tiene como principal objetivo la fijación biológica de N en su temporada de crecimiento invernal y una posterior entrega del mismo al cultivo de maíz subsiguiente, de manera tal de disminuir el requerimiento de fertilizantes nitrogenados (de Sa Pereira et al., 2014). Por lo tanto, al haber una dinámica de N que varía en función del cultivo antecesor, se esperaría que la dosis óptima económica de N (DOEN) sea diferente.

El objetivo del presente trabajo fue estudiar la respuesta a la fertilización nitrogenada en maíz de siembra tardía y determinar la DOEN para dos antecesores (trigo/soja de segunda y vicia).

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos se llevaron a cabo en la campaña 2020-2021 en dos lotes de producción agrícola aledaños a la localidad de General Villegas. Uno de ellos tenía como cultivo antecesor trigo/soja de segunda (Antecesor tr/sj) y el otro vicia villosa como CC (Antecesor vicia). El CC se sembró el 6 de abril de 2020, con una densidad de 23 kg ha⁻¹ de semilla. Previo a la siembra se realizó la inoculación con tratamiento profesional y agregado de osmoprotector (Rilegum Pack 203®). Se fertilizó a la siembra con 70 kg ha⁻¹ de MAP (11-52-0). El secado del CC se realizó de manera química el 25 de octubre de 2020.

Los cultivos de maíz se sembraron el 30 de noviembre de 2020 y se fertilizaron con 80 kg ha⁻¹ de MicroEssentials SZ (12-40-0, S:10, Zn:1). El híbrido utilizado fue el Dk7210 y la densidad de siembra fue de 80000 semillas ha⁻¹. El 27 de diciembre de 2020 (estadio fenológico V4, Ritchie & Hanway, 1982) se realizó un muestreo de suelo en cada uno de los lotes y se determinó materia orgánica (MO), fósforo Bray-Kurtz 1 (P), textura, pH y nitrógeno potencialmente mineralizable (Nan) en el estrato 0-20 cm de profundidad, y N-NO₃ en el estrato 0-60 cm de profundidad (Tabla 1).

El 4 de enero de 2021 se realizaron 5 tratamientos de fertilización nitrogenada utilizando como fuente urea protegida con agrotain® (46-0-0). Las dosis empleadas fueron las siguientes: 0, 30, 60, 120 y 180 kg ha⁻¹ de N y la aplicación se realizó con una fertilizadora

neumática de 18 m de ancho de labor y el largo de cada franja fue igual al largo del lote.

El 19 de febrero de 2021 (estadio fenológico R2, Ritchie & Hanway, 1982) se realizaron mediciones de índice de verdor con el medidor Minolta SPAD 502® (Minolta SPAD 502 Meter, Spectrum Technologies, Inc., East-Plainfield, IL). En cada franja de N se tomaron lecturas en la hoja de la espiga de 10 plantas y luego se calculó un promedio. Los valores absolutos de SPAD fueron normalizados a fin de obtener un índice de suficiencia de N (ISN); para ello se realizó el cociente de la lectura absoluta del sensor en cada tratamiento* antecesor y la lectura del sensor de la franja de máximo valor. Se realizó el análisis de varianza para cada uno de los antecesores con el software Infostat (Di Rienzo et al., 2019) y el test de diferencias de medias se realizó con LSD Fisher ($\alpha=0,05$).

En la misma fecha, se realizó un conteo de hojas fotosintéticamente activas (FA) por debajo de la hoja de la espiga, consideradas como tal cuando más del +50% de la superficie era verde. Se realizaron regresiones entre el número de hojas FA y el ISN para cada antecesor. Las ecuaciones de regresión entre estas variables se calcularon primero por separado y luego se realizó el análisis estadístico que reveló que las pendientes no eran diferentes entre los antecesores. Dado que este tipo de modelo asume pendientes iguales y la misma varianza del término de error constante para cada antecesor, la pendiente común se puede calcular mejor agrupando los dos antecesores (Neter et al., 1990).

La cosecha se realizó el 24 de junio de 2021 con una cosechadora equipada con monitor de rendimiento y se cosecharon los 16 surcos centrales de cada franja de fertilización. Los mapas de rendimiento fueron procesados mediante el software ArcGIS v10.2.2 (ESRI, 2015) para corregir y eliminar los valores de rendimiento defectuosos. Estos fueron analizados y procesados para eliminar típicos errores asociados a las características de la cosechadora y al lote. Para ello se eliminaron errores debido al retardo de inicio y fin de pasada, velocidades de avance extremas, así como también rendimientos extremadamente bajos (- 3 desvíos estándar del promedio) o elevados (+ 3 desvíos estándar del promedio).

Se construyó una curva de N para cada antecesor, se realizaron comparaciones de los modelos de dichas curvas para comprobar si estas eran significativamente diferentes ($P<0,05$) utilizando el software Table Curve 2D v5.01. Se seleccionó el modelo cuadrático plateau para describir la curva de respuesta a N ya que varios estudios demuestran que es el modelo más apropiado para describir la respuesta a maíz frente a la fertilización nitrogenada (Cerrato y Blackmer, 1990; Alotaibi et al., 2018).

$$y = R_0 + b N + c N^2 \text{ si } x < N_{crit}$$

$$y = P \text{ si } x > N_{crit}$$

Donde y es el rendimiento (kg ha⁻¹), N es la dosis de N aplicada (kg N ha⁻¹), R₀ es el rendimiento cuando el cultivo no recibió fertilización

Tabla 1. Caracterización edáfica de cada antecesor: materia orgánica (MO), fósforo Bray-Kurtz 1 (P), textura, pH y nitrógeno potencialmente mineralizable (Nan) en el estrato 0-20 cm de profundidad, y N-NO₃ en el estrato 0-60 cm de profundidad.

Antecesor	MO %	P ppm	Arena %	Limo	Arcilla	pH	N-NO ₃ ⁻ kg ha ⁻¹	Nan ppm
Trigo/Soja	2,6	20,5	52,4	29,9	17,7	5,8	172	43,7
Vicia	2,7	20,6	52,4	30,6	17,1	5,7	142	54,1

nitrogenada, b es el incremento lineal del rendimiento por unidad de superficie, c es el coeficiente cuadrático, N_{crit} es el nivel crítico de N por encima del cual no es esperable aumentos en el rendimiento y P es el rendimiento plateau.

El cálculo de la DOEN se realizó a través del método de la derivada primera:

$$DOEN = r - b2c$$

Donde r es la relación de precios N: granos, en este caso se utilizó relación de precios histórica 10:1 (Pagani et al., 2008).

La respuesta a la fertilización con N quedó definida como:

$$\text{Respuesta: Rendimiento a la DOEN} = R_0$$

Donde R_0 es el rendimiento cuando el cultivo no recibió fertilización nitrogenada.

Tabla 3. Índice de suficiencia de nitrógeno (ISN) para cada dosis de N y cada antecesor (trigo/soja- Tr/Sj, y Vicia) promedio de 3 repeticiones. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos de N dentro de cada antecesor ($P < 0,05$).

Dosis N (kg ha ⁻¹)	Antecesor	
	Trigo/soja	Vicia
0	82,6 c	83,5 a
30	88,5 bc	82,5 a
60	91,7 b	85,0 a
120	88,6 b	87,6 a
180	97,0 a	90,3 a

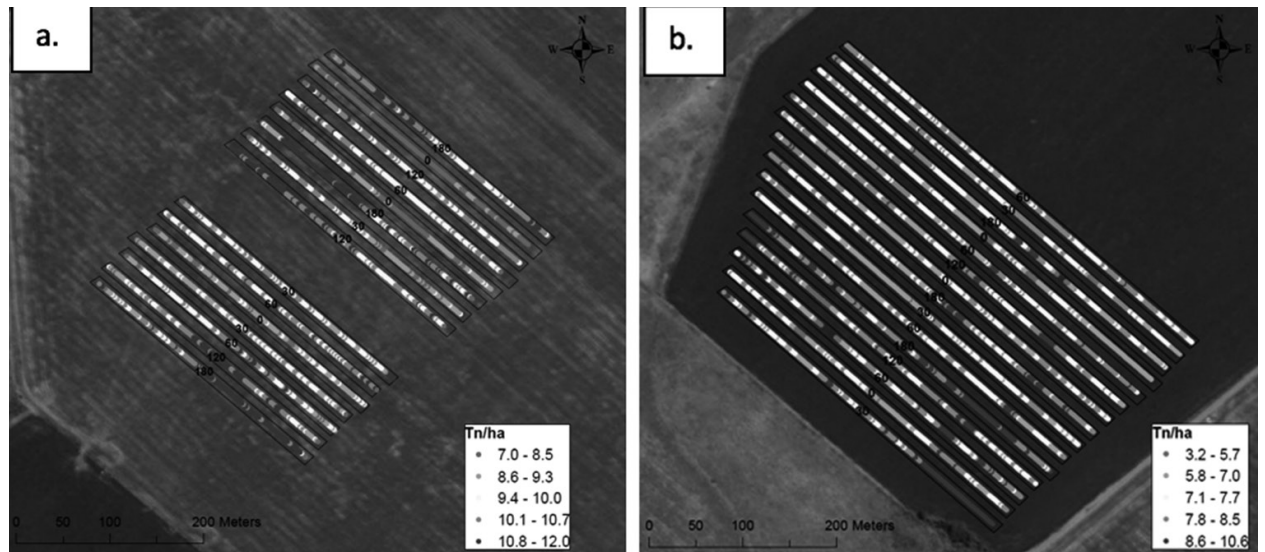


Figura 1. Diseño de los ensayos. a: Antecesor trigo/soja, b: Antecesor vicia. Los números dentro de las franjas indican las dosis de N aplicadas en kg ha⁻¹ el 4 de enero del 2021. Los puntos de colores indican el rendimiento de maíz tardío.

Tabla 2. Precipitaciones (Pp) desde Abril de 2020 a Abril de 2021.

AÑO	2020										2021			
Mes	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	
Pp (mm)	32	0	0	0	0	60	65	50	29	83	27	121	75	

El diseño de los ensayos fue completamente aleatorizado en el Antecesor tr/sj y en bloques completos al azar en el Antecesor vicia, ambos con 3 repeticiones (Figura 1).

Se registraron las precipitaciones ocurridas en el establecimiento desde abril de 2020 a abril de 2021 (Tabla 2). Desde abril a noviembre 2020 las precipitaciones fueron de 207 mm (estación de crecimiento de la vicia o barbecho del lote con Antecesor tr/sj) y desde diciembre 2020 a abril 2021 (estación de crecimiento del maíz tardío) las precipitaciones fueron de 335 mm. Esto fue un 38% inferior respecto a la media histórica para el mismo período (335 mm vs 537 mm).

RESULTADOS

El ISN varió entre 82,6 y 97,0 en el Antecesor tr/sj, mientras que en el Antecesor vicia el rango fue menor y varió entre 83,5 con 0 kg N ha⁻¹ y 90,3 con 180 kg N ha⁻¹ (Tabla 3 y Figura 2). Se encontraron diferencias significativas en el ISN ($P < 0,01$) para las dosis de N en el Antecesor tr/sj, la dosis de 180 kg N ha⁻¹ se diferenció significativamente del resto (Tabla 3), y cuando el ISN se relacionó con rendimiento se encontró una respuesta cuadrática, donde el máximo rendimiento se logró con el mayor ISN (Figura 2). Respecto al Antecesor vicia no se encontraron diferencias significativas en ISN entre dosis de N ($P > 0,05$, Tabla 3), y cuando se lo asoció con rendimiento se encontró una relación lineal positiva, en donde por cada unidad de aumento de ISN el

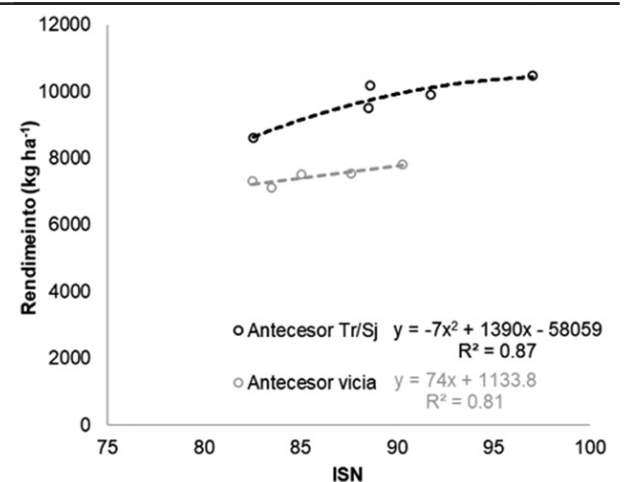


Figura 2. Rendimiento de maíz tardío en función del índice de suficiencia de nitrógeno (ISN). Símbolo y línea punteada negra: Antecesor trigo/soja, símbolo y línea punteada gris: Antecesor vicia.

aumento de rendimiento fue de 74 kg ha⁻¹ (Figura 2). Sin embargo, se vio que para los mismos valores de ISN el rendimiento alcanzado en el Antecesor tr/sj fue superior en todo el rango explorado respecto del Antecesor vicia (Figura 2).

Se encontró una relación lineal positiva entre el número de hojas FA y el ISN (R^2 modelo: 0,94, Figura 3). En el Antecesor tr/sj el número de hojas FA varió entre 4 y 8 hojas por debajo de la hoja de la espiga, mientras que en el Antecesor vicia entre 4 y 7. A mayor número de hojas FA mayor fue el ISN, y la tasa de aumento de este índice fue igual para ambos antecesores (por cada hoja FA debajo de la espiga el aumento del ISN fue de 3,6).

El rendimiento de maíz fue mayor en el Antecesor tr/sj en todo el rango de N aplicado evaluado respecto al Antecesor vicia (Figura 4). Esta diferencia de rendimiento podría deberse a que el secado del CC fue tardío (25/10), y entre el momento de secado y la siembra del maíz las precipitaciones fueron de 50 mm (Tabla 2), lo cual produjo escasa recarga del perfil para el cultivo subsiguiente. Ensayos conducidos en la EEA General Villegas en la misma campaña mostraron menor dis-

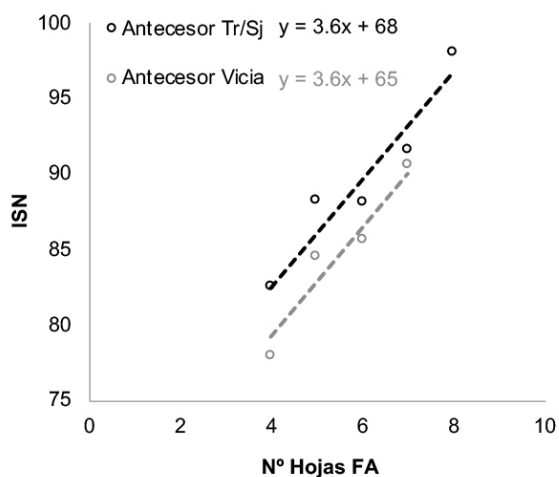


Figura 3. Número de hojas fotosintéticamente activas (FA) debajo de la hoja de la espiga en función del índice de suficiencia de nitrógeno (ISN). Símbolo y línea punteada negra: Antecesor trigo/soja, símbolo y línea punteada gris: Antecesor Vicia.

ponibilidad hídrica a la siembra de maíz con CC secados a finales de octubre (Barraco et al., 2021). Por otro lado, las precipitaciones en los meses siguientes también fueron escasas lo que podría haber afectado la tasa de descomposición del residuo de vicia y una sincronización de entrega de N y otros nutrientes hacia el cultivo. La absorción de N por la planta se da por flujo masal y la falta de agua en capas subsuperficiales podría haber afectado el ingreso del nutriente en vicia (más allá de que se haya fertilizado, mostrando deficiencias en el índice de verdor (Tabla 3, Figura 2) y senescencia más temprana (Figura 3) respecto al Antecesor tr/sj).

El rendimiento del tratamiento testigo (sin aplicación de N) fue de 8599 kg ha⁻¹ en el Antecesor tr/sj, mientras que el rendimiento para el mismo tratamiento en el Antecesor vicia fue de 7120 kg ha⁻¹. El rendimiento a la DOEN fue de 10192 kg ha⁻¹ y de 7120 kg ha⁻¹ para los Antecesores tr/sj y vicia, respectivamente. La DOEN y la respuesta de rendimiento fue de 80 kg N ha⁻¹ y de 1593 kg ha⁻¹, respectivamente para el Antecesor tr/sj, y para el Antecesor vicia la DOEN y la respuesta fue de 0 kg ha⁻¹. La falta de respuesta a la aplicación nitrogenada en maíz con Antecesor vicia fue reportada en un trabajo reciente de Enrico et al. (2020), en el cual se compararon distintos antecesores, entre ellos vicia sin inocular y vicia inoculada, y se encontró que la DOEN fue de 40 kg ha⁻¹ en el primer caso y de 0 kg ha⁻¹ en el segundo.

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio mostraron una respuesta positiva a la aplicación de N en el antecesor tr/sj, mientras que en el Antecesor vicia los rendimientos de maíz fueron menores y no se encontró respuesta a la fertilización. Sin embargo, estos resultados son de una campaña puntual, la cual se caracterizó por menores precipitaciones a las ha-

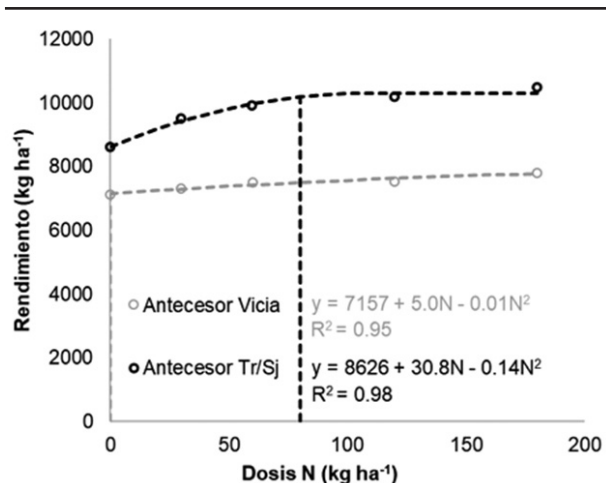


Figura 4. Rendimiento en función de la dosis de nitrógeno (N). Símbolo y línea punteada negra: Antecesor trigo/soja, símbolo y línea punteada gris: Antecesor Vicia.

bituales para la región y una fecha de secado tardía del CC lo cual podría haber interferido en la disponibilidad de N para el cultivo de maíz. Nuevos experimentos de respuesta a la fertilización con distintos antecesores y diferentes condiciones climáticas son necesarios para concluir cuál es la DOEN en maíz tardío para cada antecesor en el noroeste bonaerense.

BIBLIOGRAFÍA

- Alotaibi, K.D.; Cambouris, A.N.; St. Luce, M.; Ziadi, N.; Tremblay, N. 2018. Economic optimum nitrogen fertilizer rate and residual soil nitrate as influenced by soil texture in corn production. *Agron. J.* 110:1–10.
- Barraco, M., C. Alvarez, M. Rampo., P. Girón., W. Miranda., H.M. Lobos. 2021. Efectos del manejo de cultivos de cobertura sobre la dinámica hídrica en secuencia con maíz tardío. *Notas Agrícolas Pampeanas* 2020. N°3. Pp 6-10.
- Cerrato M.; Blackmer A. 1990. Comparison of models for describing; corn yield response to nitrogen fertilizer. *Agron J.* 82:138-143.
- Maddoni, G.A., 2012. Analysis of the climatic constraints to maize production in the current agricultural region of Argentina - a probabilistic approach. *Theor. Appl. Climatol.* 107, 325–345.
- Melchiori, R.J.M., O.P.Caviglia, 2008. Maize kernel growth and kernel water relations as affected by nitrogen supply. *Field Crops Res.* 108, 198–205.
- 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 applic* 351–374.
- Neter, J., W. Wasserman, and M.H. Kutner. 1990. *Applied linear statistical methods: Regression, analysis of variance, and experimental designs.* R.D. Irwin, Homewood, IL.
- Orcellet, J., N.I Reussi Calvo., H.R. Sainz Rozas., N. Wyngaard., H.E. Echeverría. 2017. Anaerobically incubated nitrogen improved nitrogen diagnosis in corn. *Agron. J.* 109, 291–298.
- Pagani, A.; Echeverría, H.E.; Rozas, H.S.; Barbieri, P.A. 2008. Dosis óptima económica de nitrógeno en maíz bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. *Ciencia del suelo.* 26:183-193.
- Ritchie, SW., J.J Hanway. 1982. *How a corn plant develops.* Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service Ames, Iowa. Special Report N° 48.
- Sá Pereira, E De., J. Galantini., A. Quiroga., M. Landriscini. 2014. Efecto de los cultivos de cobertura otoño invernales, sobre el rendimiento y acumulación de n en maíz en el sudoeste bonaerense. *Ci Su:* 32(2): 219-231.

*Trabajo presentado *Notas Agrícolas Pampeanas* 2021 N°4. [https://www.agro.unlpam.edu.ar/images/NAP_4%20Agosto%202021%20FINAL%20\(2\)%20.pdf](https://www.agro.unlpam.edu.ar/images/NAP_4%20Agosto%202021%20FINAL%20(2)%20.pdf)