

Maíz tardío en Entre Ríos, Argentina: Calibración de umbrales críticos en nitrógeno*

Santiago Díaz Valdez,¹ Fernando García² y Octavio Caviglia³

Introducción

En muchas de las regiones agrícolas de Argentina, a pesar de que las precipitaciones anuales en general exceden la demanda del maíz (500-600 mm), la distribución a lo largo del año presenta bajas precipitaciones durante el invierno y ciertos periodos del verano. Es frecuente la ocurrencia de bajas precipitaciones en enero, lo que sumado a la alta demanda atmosférica que se registra en esta época resulta en sequías estacionales (Maddonni, 2011). Tanto el agua como el nitrógeno (N) deben estar bien provistos en cantidad y oportunidad para asegurar un estado fisiológico óptimo al momento de la floración del cultivo de maíz, momento alrededor del cual se determina el rendimiento (Andrade et al., 1996). Una posibilidad para evitar la coincidencia de la floración del maíz con la sequía estacional del verano, es sembrar el cultivo al final de la estación primaveral, de esta manera, la floración femenina ocurre a mediados del verano y el periodo de llenado de los granos se corre a finales del verano y otoño (Maddonni, 2011).

En la provincia de Entre Ríos, a partir de la aparición de híbridos de maíz transgénico resistentes a lepidópteros, la superficie de maíz sembrada en fechas tardías se ha ido incrementando. La principal ventaja es que se aumentan los rendimientos mínimos, otorgándole más estabilidad al productor. Sin embargo, es poca la información disponible en esta región, como en otras, referente al manejo de la fertilización nitrogenada en maíces tardíos.

En Argentina se han calibrado, para maíz en fechas de siembra normales al inicio de la primavera, umbrales críticos de disponibilidad de N (Nd: N-NO₃ suelo, 0-60 cm, + N fertilizante), constituyéndose en el método más difundido para determinar la necesidad de N. Estos umbrales varían según la zona y el nivel de rendimiento objetivo (García, 2009). En Entre Ríos, Mistrorigo y Valentinuz (2004) determinaron que es necesaria una disponibilidad de 162 kg N ha⁻¹ (0-60 cm suelo V2-V4 + fertilizante) para obtener un rendimiento relativo del 94%. La Cátedra de Cerealicultura de la FAUBA definió un umbral de 125 kg N ha⁻¹ (0-60 cm suelo a la siembra + fertilizante) para rendimientos potenciales en ensayos realizados con el CREA Litoral Sur (Ruiz et al., 2004). AAPRESID-INPOFOS realizaron una red de 23 ensayos en Entre Ríos, Córdoba y Santa Fe, y propusieron que

rendimientos de 10 000 kg ha⁻¹ se pueden obtener con una disponibilidad de 130 kg N ha⁻¹ (0-60 cm suelo a la siembra + fertilizante) mientras que los umbrales críticos de N-NO₃ en V6 fueron de 19 y 24 ppm para las profundidades 0-20 y 0-40 cm respectivamente (Bianchini, 2004).

En fecha de siembra tardía hay una menor proporción de crecimiento reproductivo sobre el vegetativo, debido al deterioro de las condiciones radiativas y térmicas durante el llenado de granos y al mejor ambiente para el crecimiento inicial (Cirilo y Andrade, 1994). A su vez, la mineralización de la materia orgánica del suelo aumenta con las mayores temperaturas en siembras tardías, reduciendo así la respuesta al agregado del nutriente (Melchiori y Caviglia 2008). El cambio marcado en el ambiente de los maíces de siembra tardía en relación a los de fecha de siembra normal, indican la necesidad de verificar y/o ajustar nuevos umbrales para el manejo de la fertilización nitrogenada.

El objetivo de este trabajo fue calibrar umbrales críticos de N en pre siembra (PS) y en V6 para maíces de siembra tardía en la provincia de Entre Ríos.

Materiales y métodos

Durante las campañas 2011/12 y 2012/13 se realizaron experimentos en microparcels y en franjas. Los ensayos en microparcels se sembraron en los departamentos de Paraná y Gualeguay (2011/12) y Victoria y Gualeguaychú (2012/13). Los tratamientos evaluados fueron 5 dosis de N: 0, 25, 50, 100 y 150 kg N ha⁻¹, durante la campaña 2011/2012 y 0, 25, 50, 75 y 150 kg N ha⁻¹ en la campaña 2012/13. El diseño fue en bloques completos aleatorizados con cuatro repeticiones. Las unidades experimentales fueron de 6-8 hileras de ancho por 10 metros de largo, el fertilizante se aplicó en los cuatro surcos centrales en post-emergencia del maíz (V6), los surcos laterales cumplen la función de zona buffer entre tratamientos, y el híbrido utilizado fue DK72-10MGRR2 en todos los experimentos. Los ensayos en franjas, se realizaron en las localidades de Cerrito, Gualeguay, Rincón de Nogoyá y Pehuajó Sud, durante el año 2011/12 y en General Galarza, Gualeguaychú, Rincón de Nogoyá y Larroque (2 localidades), durante la campaña 2012/13. Las dosis de N aplicado fueron 0, 25, 50, 75 y 100 kg N ha⁻¹ y el híbrido utilizado fue DK72-10MGRR2.

¹ Monsanto Argentina SAIC, Ruta 188, Km. 72 (2700) Pergamino, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: ssdiaz@monsanto.com

² IPNI Latinoamérica Cono Sur. Correo electrónico: fgarcia@ipni.net

³ INTA Paraná-FCA (UNER) – CONICET. Correo electrónico: caviglia.octavio@inta.gov.ar

* Adaptado de la presentación realizada al XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. AACs. Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina. 5-9 Mayo 2014.

Los muestreos de N-NO₃ en PS, se realizaron a 0-20 cm, 20-40 cm y 40-60 cm. En V6, se determinó N-NO₃ a 0-20 cm y 20-40 cm. En ambos muestreos, considerando el espesor muestreado y la densidad aparente, se transformaron los valores en kg N ha⁻¹.

El umbral crítico de N (kg N ha⁻¹ suelo + N fertilizante) se determinó ajustando la relación de esta variable con el rendimiento o el rendimiento relativo del cultivo (relativo al rendimiento promedio del tratamiento de mayor rendimiento dentro de cada ensayo). Las funciones que relacionaron rendimiento y disponibilidad de nutriente a partir de los datos experimentales, se ajustaron por el método de mínimos cuadrados. Se testearon funciones de tipo lineal-plateau y cuadrática-plateau.

La función lineal-plateau se define como:

$$Y = a + b x \quad x < C \text{ (ec. 1)}$$

$$Y = P \quad x \geq C \text{ (ec. 2)}$$

donde Y representa al rendimiento relativo, a la ordenada al origen, b la respuesta del rendimiento relativo a la disponibilidad de N, x los valores de Nd, C el umbral crítico de Nd, el valor umbral ocurre en el punto a partir del cual no hay respuesta en rendimiento relativo a incrementos de Nd y P (plateau) representa todos los valores de Nd (x) en los cuales Y se torna constante.

La función cuadrática-plateau se define como:

$$Y = a + b x + c x^2 \quad x < C \text{ (ec. 3)}$$

$$Y = P \quad x \geq C \text{ (ec. 4)}$$

donde Y representa al rendimiento relativo, a la ordenada al origen, b la respuesta del rendimiento relativo a la disponibilidad de N, c el coeficiente cuadrático, x los valores de Nd, C el umbral crítico de Nd, el valor umbral ocurre en el punto a partir del cual no hay respuesta en rendimiento relativo a incrementos de Nd y P (plateau) representa todos los valores de Nd (x) en los cuales Y se torna constante.

Las ecuaciones 1 y 3, se utilizan cuando el Nd (x) es menor al umbral crítico (C), situaciones donde hay respuesta a un aumento en la disponibilidad de N. Las ecuaciones 2 y 4, representan las situaciones donde en Nd (x) es mayor o igual al umbral crítico (C), en esta situación, no hay variaciones de rendimiento relativo debido al agregado de N.

Resultados y discusión

El tratamiento testigo sin fertilizar exploró un amplio rango de rendimiento, de 3725 a 11 906 kg ha⁻¹. La campaña 2011/12 presentó rendimientos medios mayores que la campaña 2012/13: 9935 y 5720 kg ha⁻¹, respectivamente. También se exploró un amplio rango de disponibilidad de N en el suelo, en PS 0-60 cm, los valores fueron de 66 a 119 kg N-NO₃ ha⁻¹, siendo la media de 87 kg N-NO₃ ha⁻¹. En el muestreo de V6 (0-40 cm), los valores de disponibilidad de N en el suelo fueron de 63 a 98 kg N-NO₃ ha⁻¹, siendo la media de 83 kg N-NO₃ ha⁻¹.

En el conjunto de los datos, no hubo asociación entre Nd en PS y V6 con el rendimiento, lo que se refleja en

Tabla 1. Parámetros de las funciones ajustadas en PS y V6 a las distintas profundidades de muestreo.

Parámetro	PS			V6	
	0-60 cm	0-40 cm	0-20 cm	0-40 cm	0-20 cm
a	74	75	79	76	78
b	0.16	0.16	0.16	0.14	0.14
c	165	150	121	168	137
R ²	0.64	0.63	0.60	0.48	0.51

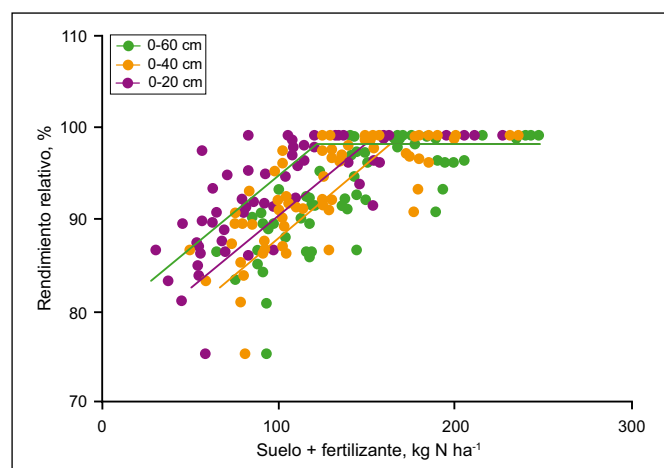


Figura 1. Rendimiento relativo en función del Nd (PS) según diferentes profundidades de muestreo.

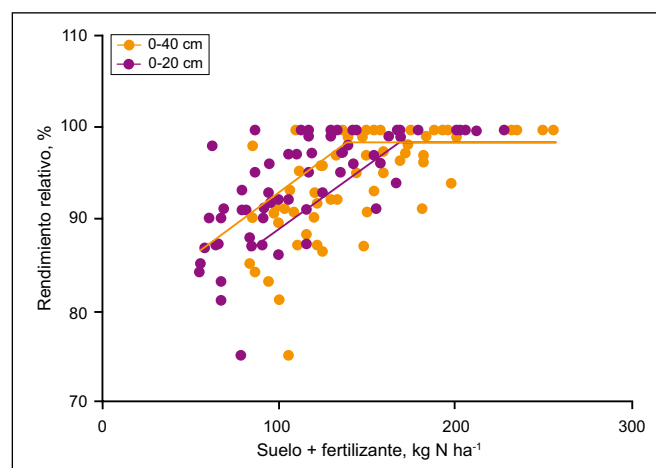


Figura 2. Rendimiento relativo en función del Nd (V6) según diferentes profundidades de muestreo.

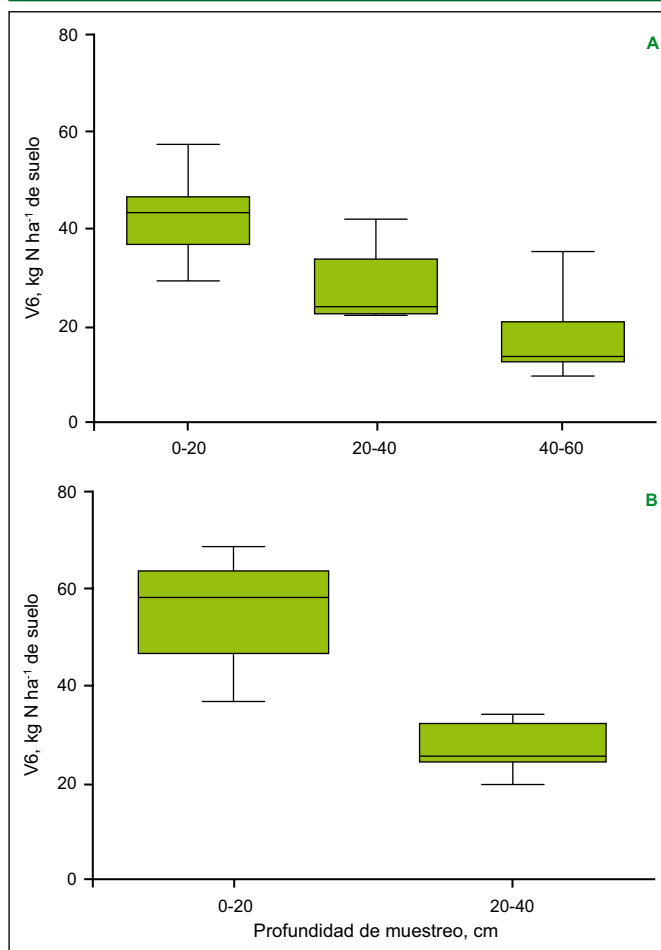


Figura 3. Distribución del N en el suelo según la profundidad de muestreo en A) PS y B) V6.

el bajo R^2 de la función ajustada ($R^2=0.04$) y ($R^2=0.02$), respectivamente. Al utilizar el rendimiento relativo, las mismas funciones obtuvieron ajustes de $R^2=0.64$ y $R^2=0.48$, respectivamente. La relación entre el rendimiento relativo y el Nd, puede ser descrita por funciones del tipo lineal-plateau o cuadrática-plateau, al no haber diferencias entre ambos modelos ($p = 0.69$), se recomienda la utilización de la función lineal-plateau, por ser esta de mas simple explicación.

En las **Figuras 1 y 2**, se pueden observar las funciones lineal-plateau ajustadas para las tres profundidades de muestreo en PS y para las dos profundidades de muestreo en V6, respectivamente. Los parámetros para las ecuaciones de ajuste en PS y V6 se presentan en la **Tabla 1**.

Las funciones que relacionan el rendimiento relativo con el Nd lograron un mayor ajuste con los muestreos de suelo realizados en PS que con los realizados en V6. El Nd correspondiente al umbral crítico (C) a una misma profundidad de muestreo, fue mayor en V6 que en PS (**Tabla 1**). El Nd en PS a 0-60 cm coincidió con el indicado por Mistrorigo y Valentinuz (2004) y es mayor que el indicado por Ruiz et al. (2004) para siembras tempranas.

Al analizar las funciones para las diferentes profundidades de muestreo en PS, se observa que el umbral crítico (parámetro C de la ecuación) disminuye

a medida que la profundidad muestreada es más superficial, lo cual es lógico, ya que se considera un menor volumen de suelo. En las **Figuras 3A y 3B**, se observa que la concentración de N del suelo es mayor en los primeros 20 cm del suelo que en las profundidades 20-40 cm y 40-60 cm.

Conclusión

El presente trabajo constituye una herramienta de diagnóstico, que en base a la disponibilidad de N en el suelo, permite ser la base para una recomendación de fertilización nitrogenada en maíces de siembra tardía en la provincia de Entre Ríos. En trabajos posteriores se deberían generar pautas para recomendaciones de fertilización nitrogenada específicas por sitio. En el muestreo en PS, independientemente de la profundidad de muestreo, se logró un mejor ajuste de la función respecto al muestreo en V6. Los umbrales de Nd en PS para alcanzar el umbral crítico fueron de 121, 150 y 165 kg N ha⁻¹ según se considere una profundidad de muestreo de 0-20 cm, 0-40 cm o 0-60 cm ($R^2= 0.60$, $R^2=0.63$ y $R^2=0.64$, respectivamente).

Bibliografía

- Andrade, F.H., A.G. Cirilo, S.A. Uhart, Y M.E. Otegui. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Dekalb Press. 292 p.
- Bianchini A, Magnelli ME, Canova D, Lorenzatti S, Peruzzi D, Rabasa J, Begnis AS, García F. 2004. Diagnóstico de fertilización nitrogenada para maíz en siembra directa. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná, Entre Ríos, Actas en CD.
- Melchiori, R.J.M., Y O.P. Caviglia. 2008. Maize kernel growth and kernel water relations as affected by nitrogen supply. Field Crops Research 108:198-205.
- Cirilo, A.G., y Andrade FH. 1994. Sowing date and maize productivity: Crop growth and dry matter partitioning. Crop Science 34:1039-1044.
- García, F. 2009. Eficiencia de uso de nutrientes y mejores prácticas de manejo para la nutrición de cultivos de grano. Simposio Fertilidad 2009, Actas 9-18.
- Maddonni, G.A. 2011. Analysis of the climatic constraints to maize production in the current agricultural region of Argentina - A probabilistic approach. Theoretical Application Climatology 107:325-345.
- Mistrorigo, D., y O. Valentinuz. 2004. Fertilización de maíz en siembra directa en suelos molisoles y vertisoles del oeste de Entre Ríos. Revista científica agropecuaria 8:99-107.
- Ruiz, R.A., G.A. Maddonni, J.L. Mercau, y E.H. Satorre. 2004. Bases para la fertilización de maíz en la región litoral sur de AACREA (provincia de Entre Ríos). XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná, Entre Ríos, Actas en CD. ♦