

UMBRALES DE RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN MAÍZ Y DOSIS ÓPTIMAS ECONÓMICAS SEGÚN POTENCIAL DE PRODUCCIÓN.

Salvagiotti F. ⁽¹⁾; J. Castellarín ⁽¹⁾; F. Ferraguti ⁽¹⁾; D. Dignani ⁽¹⁾ & H. Pedrol ⁽¹⁾

(1) INTA Oliveros, Ruta 11 Km 353 – 2206 – Oliveros – Argentina. E-mail:

fsalvagiotti@correo.inta.gov.ar

RESUMEN

La fertilización nitrogenada debe optimizar los niveles de N para asegurar la máxima producción y evitar dosis que perjudiquen el ambiente. En la medida que el cultivo tenga un mayor potencial de rendimiento los umbrales críticos de N disponible a la siembra (UNds) aumentarían y cambiaría la dosis óptima económica (DOE). En este trabajo se determinaron UNds según potencial de producción y establecieron el rango de DOE en cada ambiente. Sobre 38 experimentos de fertilización nitrogenada se determinaron UNds de acuerdo al potencial del ambiente. La DOE se estimó para situaciones de alta y baja respuesta derivando modelos cuadrático-plateau y esférico. Los umbrales de Nds fueron 137 y 161 kg N ha⁻¹ para ambientes por debajo (BR) y encima (AR) de 9665 kg ha⁻¹, respectivamente. No se observó una tendencia definida de sobre o subestimación de la DOE entre modelos. En situaciones de alta respuesta, la DOE osciló entre 125 y 137 kg N ha⁻¹ para la relación de precios 5:1 y entre 83 y 93 kg N ha⁻¹ para la relación 20:1 en AR, mientras que en BR el rango de DOE osciló entre 51 y 79 kg N ha⁻¹ y 38 y 59 kg N ha⁻¹ para relaciones 5:1 y 20:1, respectivamente. Los resultados de este trabajo remarcan que además de la capacidad del suelo de proveer N, es importante definir la potencialidad de producción de maíz en cada ambiente para diagnosticar la fertilización nitrogenada, y así alcanzar la mayor rentabilidad haciendo un uso eficiente del fertilizante.

PALABRAS CLAVE

Nitrógeno, Maíz, Umbrales de respuesta, Dosis Óptima Económica

INTRODUCCIÓN

El maíz ocupa aproximadamente el 20% de la superficie agrícola de la región pampeana norte (Ministerio Agricultura, 2010). Esta área presenta una deficiencia crónica de nitrógeno (N) para sostener altas producciones de maíz, debido a la disminución de los tenores de materia orgánica como consecuencia del intenso uso de labranzas no conservacionistas, y a los procesos de erosión que caracterizaron a la producción de cultivos hasta la última década del siglo pasado (Díaz Zorita & Buschiazzo, 2006). Por otra parte, la intensificación de la agricultura en esta región (e.g. genotipos mayor potencial y adaptabilidad) ha posibilitado en parte la obtención de altos rendimientos, i.e. mayor demanda de nutrientes, por lo que la fertilización del cultivo cumple un rol esencial para maximizar la rentabilidad del cultivo. El manejo racional de la fertilización nitrogenada del cultivo en un marco de buenas prácticas agrícolas implica el desarrollo de metodologías de diagnóstico que i) optimicen los niveles de N en el canopeo y mantengan la capacidad fotosintética del cultivo para asegurar la máxima producción (Sinclair & Horie, 1989) y ii) eviten excesivas aplicaciones de fertilizante nitrogenado que sean potencialmente perjudiciales para el ambiente (Robertson & Vitousek, 2009). Ruiz et al propusieron un umbral de 130 kg N ha⁻¹ de N disponible a la siembra (Nds) en el norte de Buenos Aires, pero la naturaleza empírica de este modelo hace que los parámetros de las funciones puedan cambiar en función de las condiciones ambientales. Calviño et al (2002) observaron cambios en las curvas de respuesta en función del potencial de rendimiento de las variedades de trigo. Dado que habrá una mayor demanda de N en situaciones de mayor potencial de rendimiento del cultivo de maíz, es esperable que los umbrales de

disponibilidad de N sean superiores en la medida que el cultivo tenga un mayor potencial de rendimiento y varíe las dosis óptima económica (DOE). Los objetivos del presente trabajo fueron: i) determinar umbrales de disponibilidad de N a la siembra de acuerdo al potencial de producción de cada ambiente y ii) establecer el rango de DOE en cada uno de estos ambientes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó una base de datos de 38 ensayos (sitios años, SA) de fertilización con N conducidos en el centro-sur de Santa Fe (Campañas 1998/99 a 2009/10) sobre suelos Argiudoles típicos y vérticos. La información permitió definir 210 situaciones de Nds (contenido de N-NO₃ a la siembra + N del fertilizante) provenientes de la combinación de sitios x años x contenido de N a la siembra. Los ensayos se dispusieron en bloques completos al azar, con dos a cuatro repeticiones. En cada experimento se realizó el análisis de nitratos a la siembra a tres profundidades (0-20, 20-40 y 40-60 cm). La respuesta a la fertilización nitrogenada fue cuantificada a través rendimiento relativo (RR). Se utilizó un modelo lineal-plateau para ajustar la relación entre Nds y RR y así determinar el umbral crítico de Nds (UCNS). Se analizó la distribución probabilística del máximo rendimiento obtenido en cada SA (como indicador del potencial de producción de cada ambiente), y se separaron dos poblaciones de ambientes, aquellos que se ubicaron por encima (Alto Rendimiento, AR) y debajo (Bajo rendimiento, BR) del percentil 50. En cada población de ambientes, se seleccionaron las situaciones extremas de respuesta teniendo en cuenta el RR más alto (baja respuesta) y más bajo de los testigos (alta respuesta) para determinar el rango de DOE. La relación entre rendimiento y dosis de N de estas situaciones se ajustaron con dos modelos: i) cuadrático-plateau (CP) (Cerrato & Blackmer, 1990) y ii) esférico (Es) (Dobermann et al, 2006). La función cuadrático-plateau es definida como:

$$R = R_{0qp} + b N + c N^2 \quad \text{si } x < N_{critqp} \quad \text{(Ecuación 1)}$$

$$R = P \quad \text{si } x \geq N_{critqp} \quad \text{(Ecuación 2)}$$

donde R es el rendimiento (kg ha⁻¹), N es la dosis de N aplicada (kg N ha⁻¹), R_{0qp} es el rendimiento cuando el cultivo no recibió fertilización nitrogenada, b es el incremento lineal del rendimiento por unidad de superficie, c es el coeficiente cuadrático, N_{critqp} es el nivel crítico de N por encima del cual no es esperable aumentos en el rendimiento y P es el rendimiento plateau. La función esférica es definida como:

$$R = R_{0es} + \Delta [(3 N/2 c) - (1/2(N/c)^3)] \quad \text{si } 0 \leq N_{crites} \quad \text{(Ecuación 3)}$$

$$R = R_{0es} + \Delta \quad \text{si } 0 > N_{crites} \quad \text{(Ecuación 4)}$$

donde R es el rendimiento (kg ha⁻¹), N es la dosis de N aplicada (kg N ha⁻¹), R_{0es} es el rendimiento cuando el cultivo no recibió fertilización nitrogenada, Δ es el incremento del rendimiento en la dosis de N más alta y N_{crites} es el nivel crítico de N en donde ocurre el máximo rendimiento. La derivada de estas funciones (kg grano kg N fertilizante⁻¹) fueron utilizadas para estimar el ingreso neto por la fertilización nitrogenada en tres relaciones de precio (\$ maíz/\$ N): 20:1, 10:1 y 5:1, manteniendo constante el precio del grano de maíz a U\$S 110 por tonelada (precio al 22/3/2010).

RESULTADOS Y DISCUSION

Los rendimientos máximos observados, que representan la potencialidad de cada SA de generar rendimiento, oscilaron entre 3640 y 15722 kg ha⁻¹. Las Nds a 60 cm de profundidad oscilaron entre 19 y 332 kg ha⁻¹ de nitrógeno y la respuesta a la fertilización

nitrogenada (en relación al testigo) estuvo comprendida entre 0 y 55%. El análisis de la distribución de los rendimientos máximos mostró un valor de 9665 kg ha⁻¹ en el percentil 50. Los UCNS fueron diferentes para ambientes por encima (AR) y debajo (BR) de este valor (Figura 1). Para BR, el UCNS fue de 137 kg N ha⁻¹. De acuerdo a este ajuste hay un 3 % de disminución en la respuesta al aumentar en 10 kg la disponibilidad de N a la siembra por debajo del valor umbral. En AR, el umbral se incrementó en un 18%, y fue significativamente superior al umbral calculado para BR, alcanzando un valor de 161 kg N ha⁻¹. Los umbrales definidos para AR y BR muestran la disponibilidad de N a la siembra necesaria para que el N no limite la producción en cada uno de estos ambientes. Sin embargo, para definir la DOE, se necesita las curvas de respuesta y los rendimientos en términos absolutos.

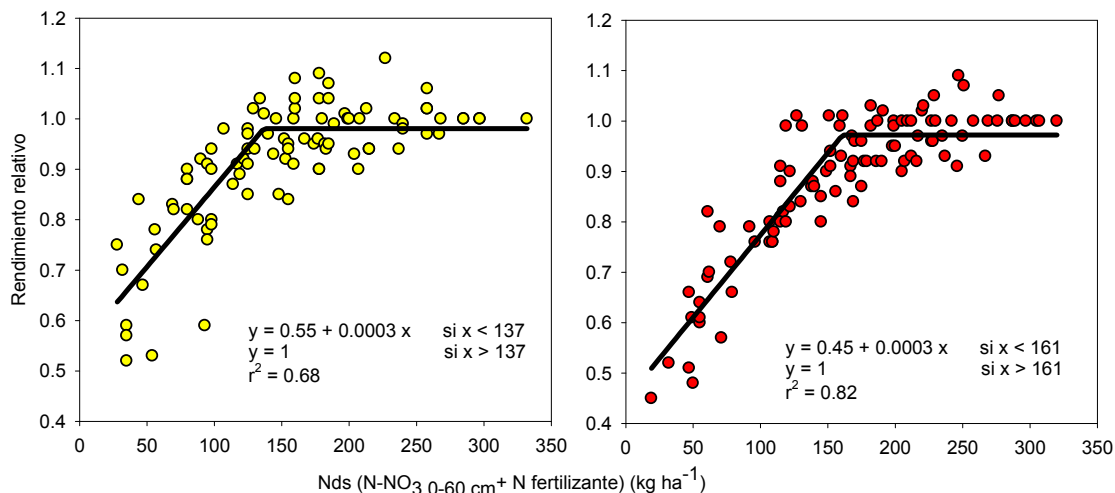


Figura 1 – Relación entre el nitrógeno disponible a la siembra (Nds) hasta los 60 cm de profundidad (N-NO₃ + N fertilizante) y el rendimiento relativo en maíz, en ambientes con rendimientos máximos inferiores (Panel Derecha) y superiores a los 9600 kg ha⁻¹ (Panel Izquierda).

Los patrones de respuesta a la fertilización nitrogenada son distintos según la condición agroecológica de cada cultivo, considerando las diferentes combinaciones de fertilidad nitrogenada inicial y al potencial de producción del ambiente (Salvagiotti et al, 2003). Dentro de BR y AR se analizó la DOE en los casos extremos de respuesta a la fertilización nitrogenada. Dentro de AR, la más alta respuesta correspondió a un lote con más de 40 años de agricultura mientras que la respuesta más baja fue en uno que tuvo pastura en base a alfalfa dos años antes. Dentro de BR, la mayor respuesta se obtuvo en un lote degradado con más de 60 años de agricultura, mientras que la menor respuesta en un lote de maíz sembrado a fines de Octubre en un lote con prolongada historia agrícola. Los dos modelos analizados en el presente trabajo mostraron ajustes con $r^2 > 0.86$ (Tabla 1). Ambos modelos presentaron estimaciones similares del rendimiento del cultivo en ausencia de fertilizante. En AR los parámetros del modelo que expresan la magnitud de la respuesta (b en el modelo cuadrático-plateau, Δ en el modelo esférico) mostraron un amplio rango, mientras que en BR éste fue menor.

En ambientes AR y de alta respuesta a la fertilización nitrogenada, la DOE osciló entre 125 y 137 kg N ha⁻¹ para la relación de precios más favorable (i.e. 5:1) y entre 83 y 93 kg N ha⁻¹ para la relación menos favorable (i.e. 20:1) según el modelo de respuesta ajustado (Tabla 2).

Tabla 1 – Parámetros de los modelos cuadrático-plateau y esférico ajustado en ensayos de fertilización nitrogenada realizados en ambientes de altos (AR) y bajos (BR) rendimientos.

		Modelo								
		Cuadrático – Plateau					Esférico			
Ambiente		R_{0qp}	b	c	N_{critqp}	r^2	R_{0es}	Δ	N_{crites}	r^2
AR	Alta Respuesta	5293	45	-0.071	189	0.96	5340	6321	234	0.96
	Baja Respuesta	11921	29	-0.09	84	0.98	11993	1595	121	0.95
BR	Alta Respuesta	4822	69	-0.31	110	0.86	5074	3963	147	0.92
	Baja Respuesta	5108	67	-0.32	105	0.98	5679	3265	161	0.92

En situaciones similares, pero en BR el rango de DOE fue menor oscilando entre 51 y 79 kg N ha⁻¹ 38 y 59 kg N ha⁻¹ para relaciones 5:1 y 20:1, respectivamente según modelo analizado. Por otra parte, en ambientes de alto potencial de rendimiento, pero con una condición de baja respuesta (e.g. lote con historia ganadera reciente) ambos modelos estimaron la DOE entre 38 y 55 kg N ha⁻¹ para una relación maíz:N 5:1 (Tabla 2). Pagani et al (2008) observaron variaciones en la DOE de 59 kg N ha⁻¹ de acuerdo al potencial del año. Los resultados de este trabajo muestran que para relaciones de precios 10:1 las variaciones fueron mayores, de 40 a 60 kg N ha⁻¹, probablemente en lotes con mayor degradación química. Estos resultados revelan la importancia de definir el ambiente en que se desarrollará el cultivo de maíz definiendo tanto la capacidad del ambiente de producir el máximo rendimiento, como así también la condición del suelo de brindar N al sistema. No se observó una tendencia definida de sobre o subestimación de la DOE entre un modelo u otro. Sin embargo, el modelo esférico permitió establecer la función de respuesta con menor uso de parámetros y cada uno con significancia biológica.

Tabla 2 – Dosis óptima económica (DOE) para tres relaciones de precios Maíz:N evaluados en ambientes de alto (AR) y bajo (BR) potencial de rendimiento y con alta y baja respuesta.

Relación Maíz/N	\$ Maíz (\$/kg grano)	\$ N (\$/kg N)	DOE (kg N ha ⁻¹)			
			AR		BR	
			Alta Respuesta	Baja Respuesta	Alta Respuesta	Baja Respuesta
Modelo Cuadrático-Plateau						
20:1	0.11	2.2	83	14	38	36
10:1	0.11	1.1	117	30	44	44
5:1	0.11	0.55	137	38	51	48
Modelo Esférico						

20:1	0.11	2.2	93	12	59	53
10:1	0.11	1.1	113	44	73	71
5:1	0.11	0.55	125	55	79	81

CONCLUSIÓN

El mayor potencial de rendimiento del ambiente, incrementó el umbral de respuesta a nitrógeno, lo que convalidó la importancia de utilizar diferentes umbrales de disponibilidad de N a la siembra en función de éste potencial. En consecuencia, la definición de los ambientes de producción de maíz para diagnosticar la fertilización nitrogenada, incluyendo no sólo la capacidad del suelo de brindar N, sino también las características de cada ambiente de alcanzar un determinado rendimiento, tanto desde el punto de vista climático (precipitaciones, radiación, temperaturas) como de manejo del cultivo (densidad, fecha de siembra, elección del cultivar), toma importancia para determinar el umbral de respuesta para diagnosticar las necesidades de N y hacer un manejo más eficiente del fertilizante. El modelo esférico permitió definir umbrales de respuesta usando tres parámetros de significancia biológica, y surge como una alternativa a otros modelos utilizados para la evaluación de las dosis óptima económica.

BIBLIOGRAFÍA

- Calvino,PA; H Echeverria & M Redolatti. 2002. Wheat nitrogen fertilization diagnosis following soybean under no tillage in the southeast of Buenos Aires province. *Ciencia del Suelo* 20:36-42.
- Cerrato,ME & AM Blackmer. 1990. Comparison of models for describing corn yield response to nitrogen fertilizer. *Agronomy Journal* 82:138-143.
- Díaz Zorita,M & DE Buschiazzo. 2006. The potential for soil carbon sequestration in the Pampas. Pp 369-382 en: Lal, R., Cerri, C. C., Bernoux, M., Etchevers, J., & Cerri, E. (Eds) *Carbon sequestration in soils of Latin America*
- Dobermann,A; R Ferguson; G Hergert; C Shapiro; D Tarkalson; DT Walters & C Wortmann. 2006. Nitrogen response in high-yielding corn systems of Nebraska. *Proceedings of the Great Plains Soil Fertility Conference* 50-59.
- Gonzalez Montaner,JH; GA Maddonni; N Mailland & M Posbog. 1991. Optimización de la respuesta a la fertilización nitrogenada en el cultivo de trigo a partir de un modelo de decisión para la subregión IV (Sudeste de la provincia de Buenos Aires). *Ciencia del Suelo* 9:41-51.
- Ministerio de Agricultura. 2010. Estimaciones agrícolas. www.minagri.gov.ar
- Pagani,A; H Echeverria; P Barbieri & H Sainz Rozas. 2008. Dosis óptima económica de nitrógeno en maíz bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 39:14-19.
- Robertson,GP & PM Vitousek. 2009. Nitrogen in Agriculture: Balancing the Cost of an Essential Resource. *Annual Review of Environment and Resources* 34:97-125.
- Ruiz,RA; EH Satorre; GA Maddonni; J Carcova & ME Otegui. 2001. Umbrales de decisión para la fertilización nitrogenada en maíz. *Actas VII Congreso Nacional de Maíz*
- Salvagiotti,F; HM Pedrol; JM Castellarín; G Cordone; J Capurro; F Martínez; JM Méndez; JC Felizia; N Trentino & D Damen. 2003. Modelos de respuesta a la fertilización nitrogenada en maíz. Para mejorar la producción - *INTA Oliveros* 23:83-86.
- Sinclair,TR & T Horie. 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: a review. *Crop Science* 29:90-98.