

FERTILIZACIÓN NITROGENADA DE MAÍZ EN EL SUDESTE DE CÓRDOBA

Martín A. Sanchez y Sebastián J. Muñoz

Asesores CREA Monte Buey-Inriville

msanchez@nodosud.com.ar; sebajm1980@hotmail.com

Introducción

En sistemas con prolongada historia agrícola, la fertilización permite incrementar la rentabilidad del cultivo. En consecuencia, una manera de aumentar la eficiencia en el uso de los fertilizantes, es conocer en que forma responde el cultivo cuando se incrementa la disponibilidad de nutrientes, en diferentes condiciones ambientales.

La respuesta a la fertilización es un proceso complejo, en el que interactúan el cultivo y el medio edafo-climático, y cuya magnitud dependerá tanto de la fertilidad del lote, determinada por la disponibilidad de nutrientes durante el ciclo del cultivo, como del rendimiento potencial que el cultivo pueda lograr, relacionado con la oferta de radiación, las temperaturas y la disponibilidad de agua (Salvagiotti et al., 2003). Todo ello permite inferir que los patrones de respuesta pueden no ser los mismos entre y dentro de cada campaña agrícola.

En ausencia de limitaciones en la disponibilidad hídrica u otros nutrientes, la disponibilidad de nitrógeno (N) será el factor que limite la expresión del rendimiento máximo que el cultivo pueda alcanzar.

La metodología más difundida de diagnóstico y recomendación de fertilización nitrogenada para el cultivo de maíz, se basa en la medición del contenido de nitratos en suelos (0-60 cm) al momento de la siembra (Díaz Zorita y Duarte, 1997; Ruiz et al., 2001). Esta metodología tiene su fundamento en que la cantidad de N a aplicar (Nf) proviene de la diferencia entre el umbral crítico (UC) y la disponibilidad de N-NO₃ determinada en pre-siembra (Ns). Dicho umbral indica el punto de quiebre a partir del cual el cultivo no responde más al agregado de N.

$$Nf = UC - Ns$$

Es importante destacar que se trata de una aproximación empírica, donde no se toman en cuenta los procesos que determinan el rendimiento, ni aquellos que afectan la dinámica del N en el sistema suelo - planta, implicando la necesidad de calibrar esta metodología para cada ambiente (Salvagiotti et al., 2003).

El objetivo de este trabajo fue analizar, a lo largo de 4 campañas consecutivas, la curva de respuesta del cultivo de maíz al incremento en la disponibilidad de N en distintos lotes de producción y obtener un umbral crítico de respuesta en establecimientos del CREA Monte Buey-Inriville (Córdoba).

Materiales y Métodos

Durante las campañas 2003/04, 2004/05, 2005/06 y 2006/07 se condujeron 18 ensayos, evaluando distintas dosis de N en lotes implantados en siembra directa en campos de productores del CREA Monte Buey-Inriville (provincia de Córdoba). Los sitios donde se llevaron a cabo las experiencias (Fig. 1) corresponden a localidades del Departamento Marcos Juárez, en la provincia de Córdoba: Monte Buey, Inriville, Gral. Baldissera, Monte Maíz, Marcos Juárez y Arias.

Los ensayos fueron realizados en franjas aleatorizadas con dosis crecientes de fertilización nitrogenada (0, 60, 120 y 180 kg de N por hectárea). En todos los casos se aseguraron condiciones no limitantes de fósforo (P). La fertilización se realizó una vez implantado el cultivo, desde V4 a V6, utilizando la fuente nitrogenada UAN; y en otros casos se

empleó urea incorporada en pre-siembra.

Los híbridos utilizados en los ensayos fueron DK 615, DK 615 MG, DK 682 MG, AW 190 MG, AX 882, DK 722 MG, NK 900 TDM y NK 940, todos de buen comportamiento en la zona. La fecha de siembra de los ensayos fueron de mediados a fin de septiembre, época donde se siembra una mayor proporción de los lotes de maíz de la zona.

Se analizó la respuesta obtenida en los diferentes lotes a través de ajustes cuadráticos con la finalidad de conocer el tipo de respuesta en rendimiento en función de la disponibilidad de N a la siembra (N fertilizante + N-NO₃ a 60 cm de profundidad). La respuesta a la fertilización nitrogenada también fue cuantificada a través del rendimiento relativo máximo, valor que se calculó como la relación entre el rendimiento de cada tratamiento y el rendimiento máximo obtenido en cada repetición y en cada ambiente. Se determinaron los Umbrales Críticos de Nitrógeno disponible a la Siembra (UCNS), a través de ajustes de tipo lineal meseta con el programa Table Curve, utilizando la relación entre el contenido de N a la siembra y el rendimiento relativo.

Para la comparación de los tratamientos se llevó a cabo un análisis de la variancia (ANVA) con el paquete estadístico SAS (1996) y para la comparación de los promedios se empleó el test de comparación de medias de Duncan.

Resultados y Discusión

La Tabla 1 indica la clase de suelo, los resultados de los análisis químicos las parcelas, la fertilización de base y el rendimiento de las parcelas testigos de los lotes donde se llevaron a cabo los ensayos.

Los rendimientos promedios a lo largo de las 4 campañas evaluadas fueron de 9038, 11049, 12055 y 12615 kg/ha respectivamente para las dosis de 0, 60, 120 y 180 kg N (fertilizante)/ha. Existen diferencias altamente significativas ($p < 0,001$) entre todos los tratamientos (Tabla 2).

Los cuatro años de realización de estos ensayos fueron muy dispares considerando su oferta climática (Fig. 2), presentando el año 2003-04 precipitaciones durante el ciclo del cultivo inferiores a la mediana histórica, y las campañas restantes con lluvias abundantes durante todo el período estival; superando o igualando a dicha mediana.

El rendimiento promedio de todos los sitios y tratamientos fue de 9687 kg/ha para la campaña 2003/04, de 11850 kg/ha para la campaña 2004/05 (un 22% superior), de 12087 kg/ha para la campaña 2005/06 (un 24% superior respecto a la campaña 2003/04) y de 11277 kg/ha para la campaña 2006/07 (superior en un 17% respecto a la campaña 2003/04) (Tabla 3). Es importante destacar que existieron diferencias significativas ($p < 0,001$) entre las campañas 2003/04 y las restantes; mientras que entre estas últimas (2004/05, 2005/06 y 2006/07) no existieron diferencias estadísticas (Tabla 2). Más aún, en la campaña 2003/04 fue en la única donde los tratamientos con agregado de fertilizante nitrogenado no presentaron diferencias significativas entre sí; mientras que en las demás campañas las diferencias entre los tratamientos fueron significativas. Todo ello confirma lo mencionado por Andrade et al. (2000), para quienes las precipitaciones son un factor clave a tener en cuenta en el cultivo de maíz, ya que existe una alta relación

entre la disponibilidad de agua durante el ciclo del cultivo y la respuesta a la fertilización.

Del mismo modo, las respuestas al agregado de N a lo largo de las 4 campañas, también fueron muy dispares, siendo la campaña 2006/07 la que presentó valores de una mayor precipitación acumulada a lo largo del ciclo del maíz (791 mm) y resultó en una mayor respuesta promedio al agregado de N (2614 kg/ha). La campaña 2003/04, con precipitaciones acumuladas de 359 mm, fue la de menor respuesta al agregado de N (de 1282 kg/ha). Las campañas 2004/05 y 2005/06 presentaron valores de precipitaciones acumuladas intermedias entre las mencionadas con antelación (646 y 532 mm) y, consecuentemente, también lo fueron las respuestas al N (Tabla 3).

A pesar de la disparidad de los rendimientos y las respuestas a lo largo de las 4 campañas de evaluación; es importante remarcar que no existió interacción significativa ($p=0,4649$) entre los distintos tratamientos y las campañas evaluadas. Por lo tanto es válido afirmar que a lo largo de estos 4 años lo que se modificó fueron los niveles pero no la tendencia creciente de respuesta en rendimiento al agregado de N al suelo. De allí que es posible analizar por separado los efectos principales de tratamientos y campañas en promedio.

Analizando a lo largo de las 4 campañas, la curva de respuesta del rendimiento del maíz al incremento creciente de la oferta de N (suelo+fertilizante) (Fig. 3); se visualizan los distintos patrones de comportamiento influenciado principalmente por la condición hídrica anual. También se puede observar en la misma figura para cada campaña un modelo matemático de respuesta a la fertilización, donde se modeliza la relación entre el rendimiento de maíz y la oferta total de N ($N-NO_3$ del suelo + el fertilizante en 0-60 cm).

A pesar de la disparidad de las respuestas del cultivo al agregado de N a lo largo de las 4 campañas, se observa un comportamiento similar de las mismas para las 3 últimas campañas (2004/05, 2005/06 y 2006/07) donde las precipitaciones fueron muy superiores a la mediana histórica durante el ciclo del cultivo. Por lo tanto, para las campañas donde el agua no fue un recurso limitante de la producción, ajustando la información a través de un modelo lineal-meseta, se determinó, con un r^2 de 0,70; un UCN disponible a la siembra ($N-NO_3$ a 60 cm + N fertilizante) de 216 kg/ha, por encima del cual la probabilidad de respuesta a la fertilización nitrogenada es baja (Fig. 4). Según este modelo y de acuerdo con este ajuste, hay un 1,7% de incremento en la respuesta al aumentar en 10 kg/ha la disponibilidad de N a

la siembra por debajo del valor del umbral (Tabla 4).

Las líneas inferiores y superiores que se pueden observar en la Figura 4, corresponden a un intervalo de confianza para la predicción del 95% del set de datos. Se puede esperar que el 95% de los rendimientos a predecir se encuentre dentro de esta área, para un oferta de N dada.

Es importante destacar que el UCNS hallado para el SE Córdoba en años considerados de buenas condiciones para el desarrollo y crecimiento del maíz, es muy superior a los 162 kg N/ha encontrado por Salvaggiotti et al. (2004) para ambientes de alta producción (> 9500 kg/ha) en el Centro-Sur de Santa Fe o a los 170 kg/ha de N a la siembra para alcanzar rendimientos de 12000 kg/ha mencionados por Bianchini et al. (2002) o a los 180 kg/ha para obtener rendimientos de 10000 Kg o superiores mencionado por Ruiz (2001).

Conclusiones

- La gran variabilidad en la oferta hídrica interanual que se observó en las campañas 2003-04, 2004-05, 2005-06 y 2006-07 influyó en la respuesta a la fertilización nitrogenada, permitiendo alcanzar rendimientos máximos de 11951 kg/ha, 16919 kg/ha, 13844 kg/ha y 14359 kg/ha para cada campaña agrícola, respectivamente.
- Se lograron adecuados ajustes del modelo de fertilización a través de una función lineal plateau ($R^2 = 0,70$), con los rendimientos convertidos a rendimientos relativos máximos.
- La oferta óptima de N (N suelo + fertilizante en 0-60 cm) varió según las condiciones hídricas de cada campaña evaluada. El umbral crítico de respuesta fue de 216 kg N/ha en años donde el agua no fue una limitante para la producción de granos. Este umbral es superior a los 162 kg N/ha que otros autores encontraron para rendimientos mayores a los 9500 kg/ha en una red de ensayos en el centro - sur de Santa Fe.
- A pesar de la disparidad de los rendimientos y las respuestas a lo largo de las 4 campañas de evaluación; es importante remarcar que no existió interacción significativa ($p=0,4649$) entre los distintos tratamientos y las campañas. Por lo que, a lo largo de estos 4 años lo que se modificó fueron los niveles pero no la tendencia creciente de respuesta en rendimiento ante la aplicación de N al suelo.

Agradecimientos

A todas las empresas del CREA Monte Buey-Inrville, sin la colaboración de sus miembros hubiese sido imposible realizar este tipo de experiencias.

Tabla 1. Detalle de campos, lotes, clase de suelo y fertilidad química de los suelos donde se realizaron los ensayos.

Año	Campo	Lote	Clase	MO (%)	P Bray I (ppm)	Fertilización de base (kg/ha)			Rendimiento (Dosis 0 N/ha)
						N (Suelo+ Fert)	P	S	
2003/04	Aurelli	AU 17	Iiw	3,01	22	53	23	0	8532
2003/04	Los Algarrobos	Guillermo	lic	2,86	26	53	16	12	-
2003/04	Baldissera	CapoBianchi	lic	2,43	25	37	13	0	7413
2003/04	La Redención	19	Illes	2,44	32	47	17	0	8706
2003/04	Santo Domingo	15 Oeste	Ilc	2,47	22	36	0	0	7496
2003/04	La Querencia	23	Iis	3,35	12	27	25	0	8455
2004/05	Aurelli	AU 14	Ilw	1,73	7	96	21	0	9548
2004/05	Los Algarrobos	Charab AS	Ilc	2,07	9	68	11	0	10473
2004/05	Monte Buey	MB 9	Ilw	2,11	9	110	22	0	8438
2004/05	San Manuel	SM 8	I-1	2,51	11	84	18	0	10038
2004/05	Balzi	Balzi	Ilc	1,88	6	68	18	0	9363
2004/05	Santo Domingo	SD 7	Ilc	3,02	50	121	12	0	10184
2004/05	La Maya	LM 5	Ilc	2,32	10	145	13	13	13047
2005/06	Monte Buey	MB 7	Ilc	2,23	17	86	26	13	9564
2005/06	Lusuriaga	LU	Ilc	2,79	18	67	17	0	10782
2006/07	Lusuriaga	LU	Ilc	2,45	13	36	23	0	9331
2006/07	Los Algarrobos	Piches a	Ilc	2,55	18	44	12	40	6189
2006/07	Los Algarrobos	Piches b	Ilc	2,55	18	44	12	0	6405
2006/07	Monte Buey	MB 10 a	Ilc	3,25	14	60	28	20	10884
2006/07	Monte Buey	MB 10 b	Ilc	3,25	14	51	28	0	10503

Referencias Bibliográficas

Andrade F.H., H.E. Echeverría, N.S. González y S.A. Uhart. 2000. Bases para el manejo del Maíz, el Girasol y la soja. Requerimientos de nutrientes minerales Pag. 223.
 Diaz Zorita M. y G. Duarte. 1997. Fertilización Nitrogenada de Maíz en el Oeste bonaerense. En: Actas VI Congreso Nacional de Maíz – Pergamino, III: 144 – 149.
 Ruiz R.A., E.H. Satorre, G.A. Maddonni., J. Carova y M.E. Otegui. 2001. Umbrales de decisión para la fertilización nitrogenada en maíz. En: Actas VII Congreso Nacional de Maíz – Pergamino.
 Salvagiotti F., H. Pedrol, J. Castellarín, G. Cordone, J. Capurro, J.C. Felizia, A. Gargicevich, O. Gentili, F. Martinez, J. Mendez, G. Prieto y N. Trentino. 2003. Modelos de respuesta a la fertilización nitrogenada en maíz. Para Mejorar la Producción N° 23. Pág. 83-84. INTA Oliveros.
 Salvagiotti F., H. Pedrol, J. Castellarín, G. Cordone, J. Ca-

purro, J.C. Felizia, A. Gargicevich, O. Gentili, F. Martinez, J. Mendez, G. Prieto y N. Trentino. 2004. Umbrales de Nitrógeno a la siembra para el diagnostico de la fertilización nitrogenada en maíz según el potencial de rendimiento. Para Mejorar la Producción N° 26 Pág. 84-87. INTA Oliveros.



Figura 1. Localidades donde se llevaron a cabo los ensayos durante las campañas 2003/04, 2004/05, 2005/06 y 2006/07.

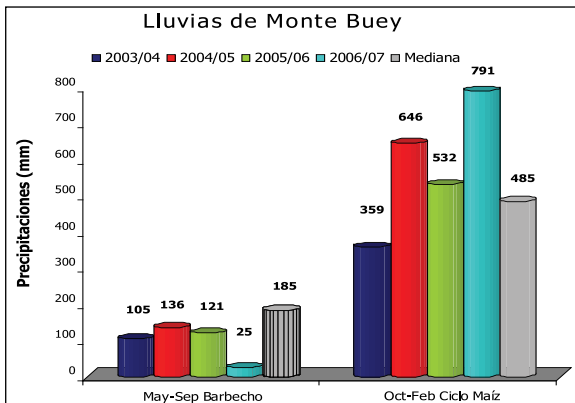


Figura 2. Precipitaciones por campaña agrícola evaluada de la localidad de Monte Buey (prov. de Córdoba).

Tabla 2. Comparación de tratamientos de fertilización nitrogenada en cada una de las campañas agrícolas evaluadas y rendimiento promedio por tratamiento y por año.

Tratamiento (kg N/ha)	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	Rendimiento medio por tratamiento
0	8119 b	9674 c	10173 d	8663 d	9038 C
60	9779 a	11622 b	11923 c	10992 c	11049 B
120	10376 a	12778 a	12784 b	12337 b	12055 A
180	10083 a	13328 a	13468 a	13115 a	12616 A
Rendimiento medio por año	9627 B	11850 A	12087 A	11277 A	11198

Letras distintas indican diferencias significativas (P<0,01), minúsculas entre filas de una misma columna y mayúsculas entre columnas de una misma fila

Tabla 3. Respuestas al agregado de N en cada una de las campañas agrícolas evaluadas y respuesta promedio por tratamiento y por año.

Tratamiento (kg N/ha)	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	Respuesta media por año
60	1192	1948	1750	2329	1948
120	2103	3104	2611	3675	3053
180	1949	3654	3295	4452	3643
Respuesta media por año	1282	2177	1914	2614	2148

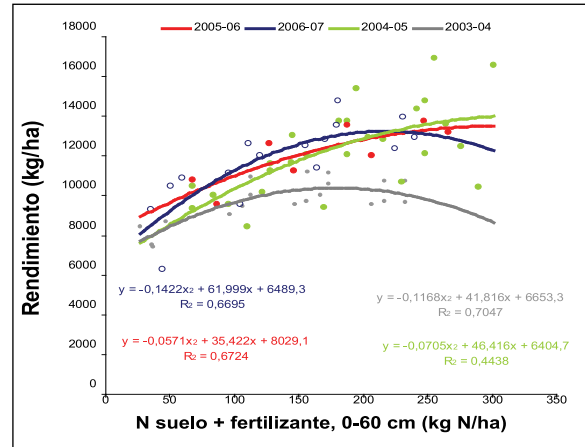


Figura 3. Relación entre el rendimiento del cultivo de maíz y las dosis de N aplicadas para cada una de las campañas evaluadas en el SE Córdoba.

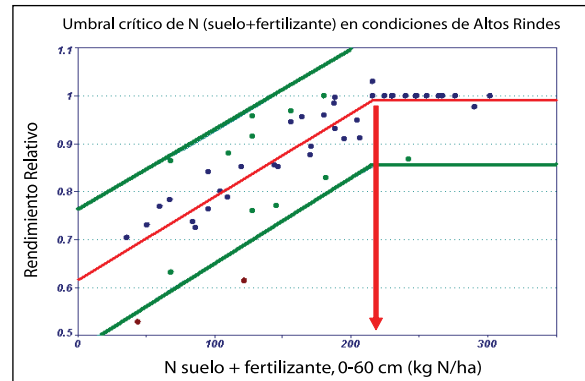


Figura 4. Relación entre el rendimiento relativo en maíz y el N disponible a la siembra hasta los 60 cm de profundidad (N-NO₃ + N del fertilizante).

Tabla 4. Parámetros de la curva plateau en condiciones de buena disponibilidad hídrica.

Parámetros	Valor
Pendiente	1,7% +/- 0,2%
UCN	216 +/- 15.5