

DOSIS ÓPTIMA ECONÓMICA DE NITRÓGENO EN MAÍZ BAJO SIEMBRA DIRECTA EN EL SUDESTE BONAERENSE

Agustín Pagani, Hernán E. Echeverría, Pablo A. Barbieri y Hernán R. Sainz Rozas.
Unidad Integrada INTA-FCA Balcarce.
paganiagustin@hotmail.com

Introducción

El SE bonaerense se caracteriza por contar con suelos de muy buena aptitud y clima templado-frío que acorta la estación de crecimiento de los cultivos estivales. Estas características hacen que dicha zona difiera considerablemente del resto de la Región Pampeana y determina que los materiales genéticos de maíz utilizados posean ciclos de crecimiento intermedios a cortos que se adaptan a la estación de crecimiento y al período libre de heladas de alrededor de 150 días (Andrade, 1995). El cultivo de maíz presenta una gran importancia en los sistemas productivos del SE bonaerense debido a que constituye un componente clave de las rotaciones agrícolas (Dominguez et al., 2005). Dicho cultivo realiza grandes aportes de residuos orgánicos al suelo, mejorando el balance de carbono (Janzen, 2006) y por lo tanto, contribuye al mantenimiento de su calidad. Además, en el SE bonaerense, se ha producido un incremento de la superficie sembrada con maíz bajo siembra directa (SD) debido a ventajas operativas, en el almacenamiento de agua y en la conservación del suelo, entre otras (Tellería, 1996).

La adopción del maíz dentro de los planteos productivos está mayoritariamente condicionada por la rentabilidad que el cultivo le aporta a la empresa agropecuaria. En este sentido, la relación de precios entre el N y el grano de maíz cobra gran relevancia en la definición de los niveles de N a aplicar (Alvarez et al., 2003). Teniendo en cuenta que los fertilizantes nitrogenados tienen una alta importancia relativa dentro del costo de producción, se hace necesario contar con herramientas que permitan determinar la dosis óptima económica (DOE), es decir, la cantidad de insumo (fertilizante nitrogenado) que maximiza la renta de este cultivo.

El diagnóstico de requerimiento de nitrógeno (N) en maíz más utilizado se basa en la determinación del contenido de N como nitrato (N-NO_3^-) hasta los 60 cm de profundidad antes de la siembra (Ruiz et al., 2001). Sin embargo, también se ha propuesto como alternativa superadora la determinación de N-NO_3^- a una profundidad de 30 cm al estadio de seis hojas (V6). En estos trabajos se asume que el N disponible en el suelo es equivalente al aportado por el fertilizante o sea que su valorización es similar. A su vez, se ha demostrado una mayor eficiencia de recuperación del N cuando las aplicaciones se realizan en el estadio fenológico V6 (Sainz Rozas et al., 2004).

Frecuentemente, los trabajos de investigación generan abundante información acerca de la relación entre el rendimiento relativo y el contenido de N en el suelo al momento de la siembra o al estadio de V6 (estudios de calibración), pero no se cuenta con información que permita calcular la DOE teniendo en cuenta el N disponible en el suelo. El objetivo de este trabajo es determinar la DOE de fertilizante nitrogenado para el cultivo de maíz bajo SD en el SE bonaerense, considerando dos momentos de fertilización. Además, se pretende comparar

el efecto de la relación de precios N-grano de maíz y la potencialidad del año sobre la definición de la DOE.

Materiales y Métodos

En este trabajo se realizaron estimaciones del nivel de N (NN) óptimo económico basado en funciones de respuesta del cultivo de maíz a la disponibilidad de N al momento de la siembra (SI) o al estadio de V6, según la potencialidad del año y la relación de precios N/grano de maíz. El NN se define como los kg N ha^{-1} presentes en el suelo más los aplicados en forma de fertilizante y se asume que la valorización de ambos es equivalente. La DOE se determina como la diferencia entre el NN y la disponibilidad de N edáfica de 0-60 o 0-30 cm, para SI y V6, respectivamente. La información utilizada fue de 23 ensayos de fertilización nitrogenada realizados en el SE bonaerense (partidos de Gral. Pueyrredón, Balcarce y Tandil) por el Grupo de Suelos de la Unidad Integrada (INTA-FCA) Balcarce, entre los años 1996 y 2007 (Tabla 1). Las poblaciones de datos cubrieron una amplia gama de condiciones meteorológicas y de fertilidad de suelo con el fin de contemplar diversos escenarios productivos. Los conjuntos de datos obtenidos representan un abanico de respuestas en rendimiento a la disponibilidad y aplicación de N, no siendo otros nutrientes como fósforo y azufre limitantes, ya que se aseguró adecuada disponibilidad de los mismos. La fuente de N fue urea granulada aplicada al voleo en cobertura total. En los ensayos en los cuales las condiciones meteorológicas atentaban contra la supervivencia del cultivo, se recurrió a la aplicación de láminas de agua de entre 30 y 50 mm para permitir sobrellevar dicho estrés. De esta forma se aseguró la continuidad de los ensayos, pero el rendimiento máximo estuvo determinado principalmente por las precipitaciones.

Se utilizó el modelo cuadrático-plateau (utilizando el Software Table Curve), para describir la relación entre el rendimiento en grano (expresado al 14% de humedad) y el NN. Este modelo fue seleccionado por Pagani et al. (2008) debido a que, a partir de él, se obtienen las DOE más racionales desde el punto de vista agronómico. El mismo se define como:

$$Y = a + bX + cX^2 \text{ si } X < C$$

$$Y = P \text{ si } X > C$$

donde Y es el rendimiento en grano expresado al 14% de humedad (kg ha^{-1}) y X es el NN (kg ha^{-1}); a (ordenada al origen), b (coeficiente lineal), c (coeficiente cuadrático), C (NN crítico, donde ocurre la intercepción entre la fase de respuesta cuadrática y el plateau) y P es el rendimiento plateau. Dicho modelo fue derivado y las rectas resultantes se graficaron en función de la relación de precios entre el N y el grano de maíz a fin

de determinar el NN óptimo económico. La estimación del contenido de N mineral del suelo se realizó en base a la concentración de N-NO₃ determinado mediante microdestilación por arrastre de vapor. En el caso del análisis a la SI el muestreo se realizó a 60 cm de profundidad, para lo cual se tomaron estratos de 20 cm (0-20, 20-40 y 40-60 cm) y se promediaron las concentraciones de N correspondientes a cada uno de ellos. Para el caso del análisis en V6, el muestreo fue realizado a 30 cm sin división en estratos (0-30 cm). Para realizar la transformación a kg N ha⁻¹ se utilizaron valores de densidad aparente considerados de referencia para suelos bajo SD en el Sudeste bonaerense: 1,2 Mg m⁻³ para el estrato de 0-30 cm y un valor de 1,3 Mg m⁻³ para el de 0-60 cm. La relación de precios entre el N y el grano de maíz se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Relación de precios} = \frac{\text{Precio N (\$/kg N)} + \text{interés} + \text{CA}}{\text{Precio bruto grano (\$/kg)} - \text{gastos}}$$

donde CA: Costo de aplicación

A su vez, el precio del N depende del precio del fertilizante y de su concentración de N:

$$\text{Precio del N (\$/kg N)} = \frac{\text{Precio fertilizante (\$/ton)}}{\text{kg N/ton fertilizante}}$$

En el cálculo de la relación de precios se consideró como costo del fertilizante, el precio del mismo puesto en el campo más el costo financiero (en el caso de existir este) por haber usado crédito para adquirirlo. El valor del grano utilizado fue el neto, luego de descontados los gastos de cosecha, flete, secado y comercialización.

Para el cálculo del interés se consideró la tasa mensual y el período de inmovilización (generalmente 6-8 meses).

Resultados y Discusión

En la Figura 1 se presentan los valores de rendimiento en grano de maíz en función del NN para los momentos de SI y V6. Cada punto representa el promedio de rendimiento (de al menos tres repeticiones) correspondiente a cada tratamiento o sea NN (disponibilidad de N inicial + dosis de N aplicada) de los diferentes ensayos. Del ajuste del modelo surgieron ecuaciones cuyos coeficientes se presentan en la Tabla 2. Si bien las regresiones fueron significativas (p<0,01), los coeficientes de determinación (R²) de las mismas, podrían ser mejorados (Tabla 2). Esto se debe a que la relación entre el rendimiento de un cultivo y el N disponible está afectada por factores genéticos, ambientales y de manejo (Carcova, 2004). Esta limitación fue parcialmente superada cuando se agruparon los resultados en poblaciones correspondientes a años con diferente potencialidad, para ambos momentos (SI y V6). Se ajustaron los mismos modelos para años cuyos rendimientos máximos fueron superiores a 12000 kg ha⁻¹ (años favorables), entre 12000 y 10000 kg ha⁻¹ (años promedio), y para los que no superaron los 10000 kg ha⁻¹ (años poco favorables). De esta manera se logró cubrir tres escenarios de respuesta a la fertilización (Fig. 2). La construcción de tres curvas de respuesta para cada momento de muestreo-fertilización permitió reducir la variabilidad aumentando el valor predictivo del modelo (Tabla 3). Como se mencionó, el N no es el único factor que determina el rendimiento de maíz, por lo que la utilización de tres curvas de respuesta permitió realizar un análisis más detallado y sobre todo de

Tabla 1. Información descriptiva de los sitios experimentales para el análisis a la siembra (SI) y en 6 hojas expandidas (V6). MO: materia orgánica (0-20 cm), pH: 1:2,5 suelo/agua (0-20cm), P: fósforo disponible (0-20), N-NO³⁻: nitrógeno como nitratos (0-60 cm para SI y 0-30 cm para V6).

En-sayo	Campaña	Sitio	Antecesor	Riego	MO (g kg ⁻¹)	pH	P (mg kg ⁻¹)	N-NO ³⁻ (kg ha ⁻¹)	Dosis N (kg ha ⁻¹)
SI									
1	1994/95	Balcarce	Maíz	si	55	5,8	18	41	0, 70, 140
2	1995/96	Balcarce	Maíz	si	55	5,8	20	11	0, 35, 70, 140, 210
3	1996/97	Tandil	Maíz	si	55	5,8	24	9	0, 70, 210
4	1996/97	Balcarce	Maíz	si	55	5,8	21,4	32	0, 70, 210
5	1997/98	Balcarce	Trigo	no	65	6	16,0	55	0, 70, 140, 210, 280
6	1997/98	Gral. Pueyrredón	Maíz	si	56	5,8	22	85	0, 70, 140, 210, 280
7	1999/00	Tandil	Maíz	si	55	6	17,2	54	0, 60, 120, 180
8	2000/01	Balcarce	Maíz	no	55	6,4	36,9	31	0, 70, 180
9	2001/02	Balcarce	Maíz	si	54	6,4	16,9	22	0, 180
10	2001/02	Balcarce	Maíz	no	54	6,4	16,9	22	0, 180
11	2002/03	Gral. Pueyrredón	Maíz	no	54	6,4	18,9	13	0, 180
12	2002/03	Balcarce	Maíz	no	54	6,4	18,9	13	0, 180
13	2004/05	Balcarce	Maíz	si	57	5,3	14,9	42	0, 60, 120
14	2005/06	Balcarce	Soja 2da	si	53	5,9	19,8	65	0, 150
15	2006/07	Balcarce	Soja 2da	no	53	5,3	8	88	0, 50, 100
V6									
16	1994/95	Balcarce	Maíz	si	55	5,8	18	49	0, 35, 70, 140
17	1995/96	Balcarce	Maíz	si	55	5,8	20	28	0, 35, 70, 140, 210
18	1996/97	Balcarce	Maíz	si	55	5,8	24	44	0, 70, 140, 210
19	1997/98	Tandil	Maíz	si	56	5,8	22	32	0, 60, 120, 180
20	1998/99	Balcarce	Maíz	no	58	5,8	15	43	0, 70, 140, 210
21	1999/00	Gral. Pueyrredón	Maíz	si	59	6	17,3	56	0, 60, 180
22	1999/00	Balcarce	Maíz	si	59	6	17,3	42	0, 60, 180
23	2004/05	Balcarce	Maíz	si	49	5,6	19,5	56	0, 60, 120

mayor aplicabilidad para cada situación en particular. Debido a que todos los experimentos fueron conducidos bajo adecuadas prácticas de manejo (selección del material genético, fecha de siembra, densidad, espaciamento entre hileras, control de plagas, malezas y fertilización con otros nutrientes), es evidente que las diferencias en respuesta a N entre las curvas de la Figura 2 se deben a las variaciones anuales en las condiciones meteorológicas. Dentro de estas variables se encuentran como más relevantes para definir el rendimiento de maíz, la disponibilidad hídrica durante el ciclo del cultivo, sobre todo alrededor de la floración (Calviño et al., 2003), aunque también la temperatura y la radiación son factores determinantes del rendimiento durante el período crítico del cultivo (Carcova, 2004). La relevancia de esta segregación, radica en la posibilidad de optar entre curvas de alto o bajo rendimiento, en los casos que sea posible definir escenarios de precipitación diferente al promedio. En situaciones donde se prevea que no existirán limitaciones hídricas importantes para el cultivo por aplicación de riego, podrá

elegirse trabajar con la función de altos rendimientos (años favorables). Por el contrario, en situaciones donde sean probables precipitaciones menores que el promedio o que la actitud del productor sea más conservadora, sería aconsejable estimar la dosis de N a aplicar con la función de menores rendimientos (años poco favorables). Este caso puede darse si se cuenta con pronósticos meteorológicos que indiquen un efecto "Año Niña" para el ciclo del cultivo, en el cual sean probables precipitaciones menores a la media. Si no se cuenta con información de este tipo, probablemente la utilización de la función de años promedio sea la que arroje resultados económicamente más convenientes a largo plazo (Alvarez et al., 2003). De todas maneras, la elección de una u otra estrategia forma parte del contexto, racionalidad y filosofía de cada productor. Una vez obtenidas las ecuaciones de respuesta de rendimiento a la disponibilidad de N para ambos momentos de muestreo-fertilización, se procedió a derivar el modelo con el fin de obtener nuevas funciones que fueron graficadas utilizando el NN como variable independiente, y la relación de precios N-grano de maíz como variable dependiente (Fig. 3 y Tabla 4). Esto permitió desarrollar tablas de recomendación para la fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz al momento de la SI (Tabla 5) o en V6 (Tabla 6). Así, previa selección de la Tabla a utilizar (en función de la potencialidad del año y del momento de muestreo-fertilización), puede ingresarse a la misma con una relación de precios y disponibilidad de N determinada, y de esta manera obtener la DOE para la condición seleccionada. Cuando se fertilice con fosfato diamónico

Tabla 2. Coeficientes de las funciones de ajuste de rendimiento al nivel de N (NN) para el momento de la siembra (SI) y seis hojas (V6). c: coeficiente cuadrático, b: coeficiente lineal, a: ordenada al origen, C: NN crítico, donde ocurre la intersección entre la fase de respuesta cuadrática y el plateau, R²: coeficiente de determinación de la regresión.

Momento	c	b	a	C	R ²
SI	-0,182	70,44	4115	177	0,72
V6	-0,223	78,42	4434	168	0,66

Tabla 3. Coeficientes de las funciones de ajuste de rendimiento al nivel de N (NN) para el momento de la siembra (SI) y seis hojas (V6) según la potencialidad del año. c: coeficiente cuadrático, b: coeficiente lineal, a: ordenada al origen, C: NN crítico, donde ocurre la intersección entre la fase de respuesta cuadrática y el plateau, R²: coeficiente de determinación de la regresión.

Años	c	b	a	C	R ²
----- SI -----					
Favorables	-0,212	92,89	3085	209	0,93
Promedio	-0,179	67,14	4425	194	0,85
Poco favorables	-0,215	68,54	3559	160	0,95
----- V6 -----					
Favorables	-0,208	82,17	4710	198	0,95
Promedio	-0,319	94,65	4146	145	0,80
Poco favorables	-0,293	79,52	3420	113	0,92

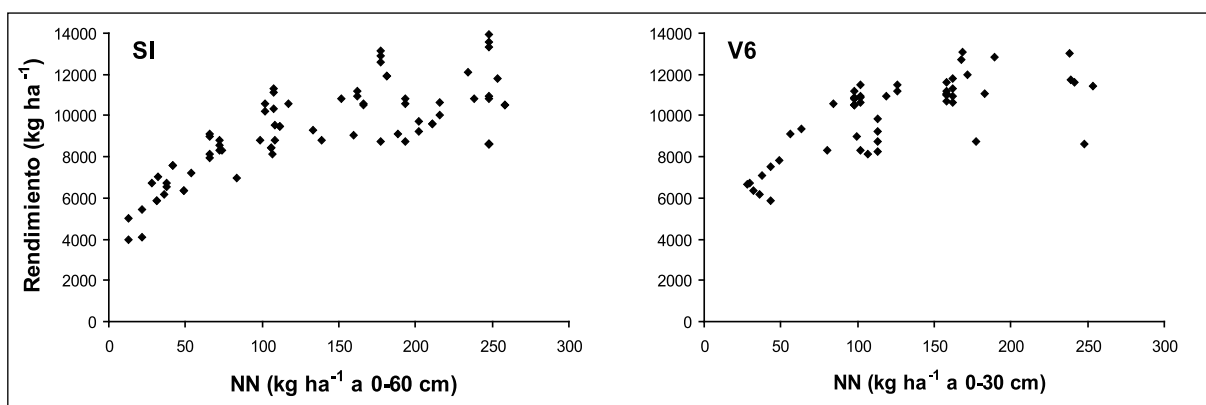


Figura 1. Relaciones entre el rendimiento de maíz y el nivel de N (NN) a la siembra (SI) y al estadio de seis hojas (V6) del maíz en el SE bonaerense.

o monoamónico con posterioridad a la determinación del contenido de nitratos, se deberá descontar de la DOE, los kg de N aportado por el fertilizante fosforado. Es válido mencionar que ante elevada disponibilidad de N, generalmente no es rentable la aplicación de dosis menores a 30 kg N ha⁻¹ por lo que en estas situaciones no es recomendable la fertilización, si ello implica un costo de aplicación. Debido a lo anterior, no se consideraron en las Tablas 5 y 6, valores de DOE's menores a 30 kg N ha⁻¹. A modo de ejemplo, para la relación de precios promedio (10 kg de maíz necesarios para pagar 1 kg de N) y una disponibilidad de N a la SI frecuente (50 kg N ha⁻¹), la DOE sería de 86, 110 y 145 kg N ha⁻¹ para años poco favorables, promedio y favorables, respectivamente (Tabla 5). Para idénticas condiciones en el estadio de V6, la DOE sería de 69, 83 y 123 kg N ha⁻¹ para años poco favorables, promedio y favorables, respectivamente (Tabla 6). En cuanto al momento de muestreo-fertilización, en general se observó que las DOE's fueron menores en V6 respecto de SI para todos los años evaluados. Lo anterior, está de acuerdo con los resultados de Sainz Rozas et al. (2004) quienes determinaron menores pérdidas de N del sistema en V6 respecto de la aplicación a la SI. Esto se traduce en mayores eficiencias de recuperación del fertilizante en V6, cuando las tasas de absorción de N por el maíz comienzan a ser significativas (Echeverría y Sainz Rozas, 2005). En la Figura 4 se presenta la evolución de la relación de precios N-grano de maíz para los últimos diez años en Argentina, donde se observa que dicho valor fluctuó entre un mínimo de 5,3 y un máximo de 17,5 kg de grano de maíz necesarios

para pagar 1 kg de N. Este amplio rango de oscilación de precios provoca variaciones en el NN óptimo económico y, por lo tanto, en la DOE de tan solo 30 y 23 kg N ha⁻¹ para SI y V6, respectivamente (promedio de años favorables, promedio y poco favorables). Por su parte, cuando se considera el efecto de potencialidad del año (para el promedio de relación de precios), las variaciones en el NN y la DOE, prácticamente se duplican puesto que se determinaron valores de 59 y 54 kg N ha⁻¹ para SI y V6, respectivamente (diferencia entre los años favorables y poco favorables). Considerando que, para una situación determinada, es muy poco probable definir la potencialidad del año y que, por el contrario las fluctuaciones en la relación de precios son generalmente de menor magnitud que la mencionada, el impacto del efecto año sobre los cambios en el NN y por lo tanto en la DOE es aún mayor. Estos resultados enfatizan la importancia del

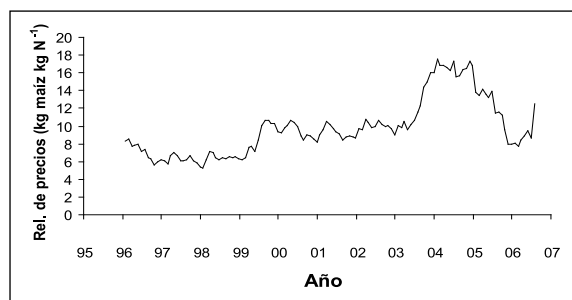


Figura 4. Relación de precios N-grano de maíz durante el período 1997-07 en Argentina. Fuente: Series de precios AACREA.

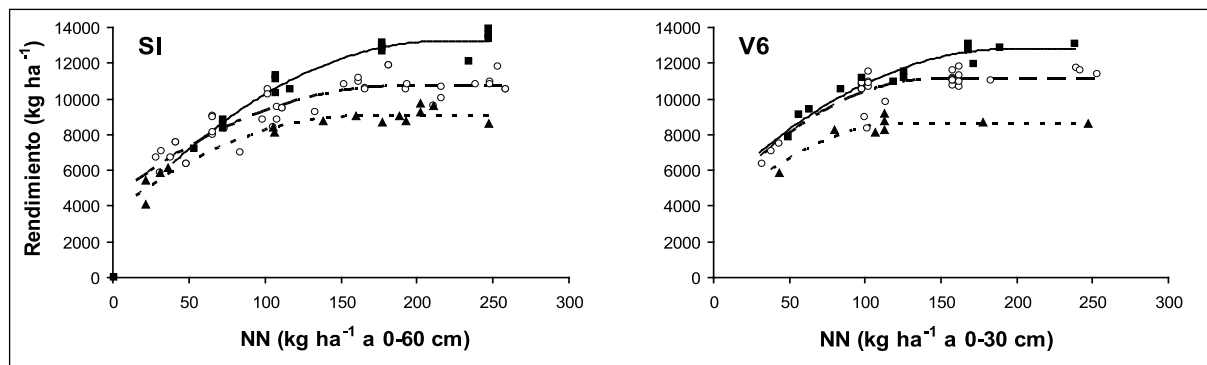


Figura 2. Relaciones entre el rendimiento de maíz y el nivel de N (NN) determinado a la siembra (SI) y al estadio de seis hojas (V6) en el SE bonaerense. Las curvas presentan funciones de ajuste del modelo cuadrático-plateau para los rendimientos correspondientes a años favorables (cuadrados negros), promedio (círculos blancos) y poco favorables (triángulos negros).

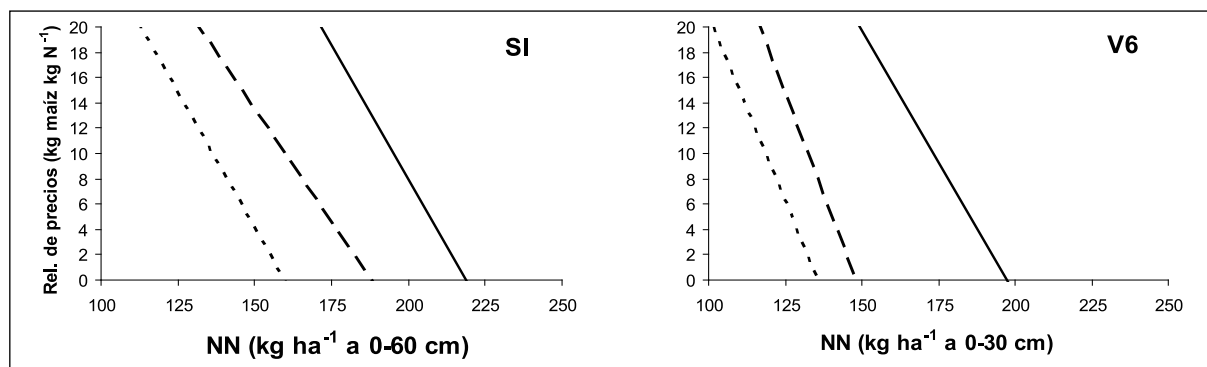


Figura 3. Funciones derivadas de las relaciones entre el rendimiento del cultivo y el nivel de N (NN) en el suelo a la siembra (SI) y al estadio de seis hojas (V6) en el SE bonaerense. Años favorables (línea llena), promedio (línea discontinua) y poco favorables (línea punteada).

nivel de rendimiento máximo como mayor condicionante de la DOE. En este sentido, es más factible definir acertadamente el rendimiento máximo en V6 que a la SI, debido a que generalmente se cuenta con mayor información disponible en ese momento (disponibilidad hídrica en el suelo, pronósticos climáticos, relaciones de precios).

En síntesis, se determinó la DOE del fertilizante nitrogenado para el cultivo de maíz bajo SD en el SE bonaerense.

La DOE para la fertilización con N al estadio de V6 fue inferior que la correspondiente al momento de la siembra, lo que ratifica las ventajas de fertilizar el maíz en V6 respecto de la siembra. La potencialidad del año condicionó la DOE en mayor medida que la relación de precios N/grano de maíz, por lo que a la hora de fertilizar, la definición del rendimiento objetivo del cultivo cobra mayor relevancia aún que la relación de precios.

Tabla 4. Coeficientes de las funciones derivada de las relaciones entre el rendimiento del cultivo y el nivel de N (NN) en el suelo determinado a la siembra (SI) y al estadio de seis hojas (V6) en el SE bonaerense. b: coeficiente lineal, a: ordenada al origen.

Años	----- SI -----		----- V6 -----	
	b	a	b	a
Favorables	-0,424	92,89	-0,416	82,17
Promedio	-0,357	67,14	-0,639	94,66
Poco favorables	-0,429	68,55	-0,586	79,52

Tabla 5. Dosis óptima económica (DOE) de fertilización nitrogenada para años con condiciones favorables, promedio y poco favorables en función de la relación de precios N fertilizante/grano de maíz y el contenido de N mineral del suelo (kg ha⁻¹) para la fertilización a la siembra. La zona resaltada en color gris indica las situaciones más frecuentes.

Años favorables	Relación de precios (kg grano kg N ⁻¹)											
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
N suelo (kg ha ⁻¹)	----- kg N ha ⁻¹ -----											
20	185	183	180	178	175	173	171	168	166	164	161	
30	175	173	170	168	165	163	161	158	156	154	151	
40	165	163	160	158	155	153	151	148	146	144	141	
50	155	153	150	148	145	143	141	138	136	134	131	
60	145	143	140	138	135	133	131	128	126	124	121	
70	135	133	130	128	125	123	121	118	116	114	111	
80	125	123	120	118	115	113	111	108	106	104	101	
90	115	113	110	108	105	103	101	98	96	94	91	
100	105	103	100	98	95	93	91	88	86	84	81	
110	95	93	90	88	85	83	81	78	76	74	71	
120	85	83	80	78	75	73	71	68	66	64	61	
130	75	73	70	68	65	63	61	58	56	54	51	
Años promedio	Relación de precios (kg grano kg N ⁻¹)											
N suelo (kg ha ⁻¹)	----- kg N ha ⁻¹ -----											
20	151	148	146	143	140	137	134	132	129	126	123	
30	141	138	136	133	130	127	124	122	119	116	113	
40	131	128	126	123	120	117	114	112	109	106	103	
50	121	118	116	113	110	107	104	102	99	96	93	
60	111	108	106	103	100	97	94	92	89	86	83	
70	101	98	96	93	90	87	84	82	79	76	73	
80	91	88	86	83	80	77	74	72	69	66	63	
90	81	78	76	73	70	67	64	62	59	56	53	
100	71	68	66	63	60	57	54	52	49	46	43	
110	61	58	56	53	50	47	44	42	39	36	33	
120	51	48	46	43	40	37	34	32	0	0	0	
130	41	38	36	33	0	0	0	0	0	0	0	
Años poco favorables	Relación de precios (kg grano kg N ⁻¹)											
N suelo (kg ha ⁻¹)	----- kg N ha ⁻¹ -----											
20	126	123	121	119	116	114	112	109	107	105	102	
30	116	113	111	109	106	104	102	99	97	95	92	
40	106	103	101	99	96	94	92	89	87	85	82	
50	96	93	91	89	86	84	82	79	77	75	72	
60	86	83	81	79	76	74	72	69	67	65	62	
70	76	73	71	69	66	64	62	59	57	55	52	
80	66	63	61	59	56	54	52	49	47	45	42	
90	56	53	51	49	46	44	42	39	37	35	32	
100	46	43	41	39	36	34	32	0	0	0	0	
110	36	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Agradecimientos

Trabajo financiado por el proyecto INTA AERN5656, el AGR261/08 de la FCA-UNMP y con recursos de la Est. Exp. INTA Balcarce.

Referencias bibliográficas

Álvarez R., H.S. Steinbach, C.R. Álvarez y M.S. Grigera. 2003. Recomendaciones para la fertilización nitrogenada de trigo y maíz en la Pampa Ondulada. Informaciones Agronómicas del Cono Sur, N° 18.
Andrade F.H. 1995. Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. Field Crop Res. 41:1-12.
Calviño P.A., F.H. Andrade y V.O. Sadras. 2003. Maize Yield as Affected by Water Availability, Soil Depth, and Crop Management. Agron. J. 95:275-281.
Carcova J., G. Abeledo y M. Lopez Pereira. 2004. Análisis de la generación del rendimiento: crecimiento, partición y componentes. En: Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Satorre EH, Benech RL, Slafer GA, de la Fuente EB, Miralles DJ,

Otegui ME, Savin R (eds.). Editorial Facultad de agronomía. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. pp. 75-95.
Dominguez G., G. Studdert y H.E. Echeverría. 2005. Propiedades del suelo: efectos de las practicas de manejo. En: Echeverría HE, García FO (eds.). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina. pp. 207-229.
Echeverría H.E. y H.R.Sainz Rozas. 2005. Maíz. En: H.E. Echeverría y F.O. García (eds.). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Ediciones INTA. pp. 255-282.
Janzaen J.J. 2006. The soil carbon dilemma. Shall we hoard it or use it? Soil boil. Biochem. 38:419-424.
Pagani A., H.E. Echeverría, H.R. Sainz Rozas y P.A. Barbieri. 2008. Dosis óptima económica de nitrógeno en maíz bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. Ciencia del Suelo (en prensa).
Sainz Rozas H.R., H.E. Echeverría y P.A. Barbieri PA. 2004. Nitrogen Balance as Affected by Application Time and Nitrogen Fertilizer Rate in Irrigated No-Tillage Maize. Agron. J. 96:1622-1631.
Tellería J.G. 1996. Siembra Directa de Maíz. En: Maíz, Cuaderno de Actualización Técnica N°57. CREA. Buenos Aires, Argentina. pp. 90-96. <

Tabla 6. Dosis óptima económica de fertilización nitrogenada para años buenos, promedio y malos en función de la relación de precios N fertilizante/grano de maíz y el contenido de N mineral del suelo (kg ha⁻¹) para la fertilización en V6. La zona resaltada en color gris indica las situaciones más frecuentes.

Años favorables	Relación de precios (kg grano kg N ⁻¹)										
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
N suelo (kg ha ⁻¹)	----- kg N ha ⁻¹ -----										
20	163	161	158	156	153	151	149	146	144	141	139
30	153	151	148	146	143	141	139	136	134	131	129
40	143	141	138	136	133	131	129	126	124	121	119
50	133	131	128	126	123	121	119	116	114	111	109
60	123	121	118	116	113	111	109	106	104	101	99
70	113	111	108	106	103	101	99	96	94	91	89
80	103	101	98	96	93	91	89	86	84	81	79
90	93	91	88	86	83	81	79	76	74	71	69
100	83	81	78	76	73	71	69	66	64	61	59
110	73	71	68	66	63	61	59	56	54	51	49
120	63	61	58	56	53	51	49	46	44	41	39
130	53	51	48	46	43	41	39	36	34	0	0
Años promedio	Relación de precios (kg grano kg N ⁻¹)										
N suelo (kg ha ⁻¹)	----- kg N ha ⁻¹ -----										
20	119	117	116	114	113	111	109	108	106	105	103
30	109	107	106	104	103	101	99	98	96	95	93
40	99	97	96	94	93	91	89	88	86	85	83
50	89	87	86	84	83	81	79	78	76	75	73
60	79	77	76	74	73	71	69	68	66	65	63
70	69	67	66	64	63	61	59	58	56	55	53
80	59	57	56	54	53	51	49	48	46	45	43
90	49	47	46	44	43	41	39	38	36	35	33
100	39	37	36	34	33	0	0	0	0	0	0
110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Años poco favorables	Relación de precios (kg grano kg N ⁻¹)										
N suelo (kg ha ⁻¹)	----- kg N ha ⁻¹ -----										
20	105	104	102	100	99	97	95	94	92	90	88
30	95	94	92	90	89	87	85	84	82	80	78
40	85	84	82	80	79	77	75	74	72	70	68
50	75	74	72	70	69	67	65	64	62	60	58
60	65	64	62	60	59	57	55	54	52	50	48
70	55	54	52	50	49	47	45	44	42	40	38
80	45	44	42	40	39	37	35	34	32	0	0
90	35	34	32	0	0	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0