

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**

“ Trabajo final”.
para optar al grado de Ingeniero Agrónomo.

**Evaluación de distintos niveles de
nitrógeno sobre el rendimiento en el
cultivo de maíz.**

Zanotti, Franco Javier.
DNI: 28.420.969

Dir. Ing. Agr. Carlos A. Castillo.
Co Director Ing. Agr. Daniel Damen.

Río Cuarto – Córdoba.
Febrero 2008

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIO CUARTO

FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: Evaluación de distintos niveles de nitrógeno sobre el rendimiento en el cultivo de maíz.

Autor: Zanotti, Franco Javier.

DNI: 28.420.969

Director: Carlos A. Castillo.

Co-Director: Daniel Damen.

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias del Jurado

Evaluador:

(Nombres)

Fecha de Presentación: ____/____/____

Aprobado por Secretaría Académica: ____/____/____

Secretario Académico

Agradecimientos

Principalmente a mis padres por su apoyo durante la carrera.

Al director y co-director de tesis por guiarme en la confección de la misma.

A docentes y no docentes que intervinieron en mi formación como profesional.

A compañeros y amigos por el apoyo brindado a lo largo de la carrera.

Especialmente a mi novia por el tiempo y apoyo recibido en todo momento.

INDICE GENERAL

	<u>Pag.</u>
Resumen	VI
Summary	VII
1. Introducción – Antecedentes	8
1.1. Introducción y Antecedentes.....	8
1.2. Hipótesis.....	11
1.3. Objetivos.....	11
1.3.1. Objetivos Generales.....	11
1.3.2. Objetivos específicos.....	11
2. Materiales y métodos	12
2.1. Características generales del área donde se realizó el estudio.....	12
2.2. Descripción del sistema de siembra.....	12
2.3. Momento y forma de aplicación de los fertilizantes.....	12
2.4. Descripción del ensayo experimental.....	13
2.5. Descripción de las determinaciones realizadas sobre la producción del cultivo de maíz.....	13
2.5.1. Número de plantas.....	13
2.5.2. Número de espigas.....	13
2.5.3. Número de granos.....	13
2.5.4. Peso de mil granos.....	13
2.5.5. Rendimiento.....	13
3. Resultados	14
3.1. Determinación de plantas y espigas por metro cuadrado.....	14
3.2. Determinación del número de granos por metro cuadrado.....	14
3.3. Determinación del peso de mil granos.....	16
3.4. Determinación del rendimiento.....	17
3.5. Eficiencia del uso del fertilizante.....	18
3.6. Determinación del umbral crítico.....	19
3.7. Análisis económico de la fertilización.....	20
4. Discusión	22
5. Conclusión	24
6. Bibliografía	25

INDICE DE CUADROS Y GRAFICOS

Cuadro 1: Análisis de suelo en pre-siembra.....	12
Gráfico 1: Precipitaciones decádicas y temperaturas durante el ciclo del cultivo	13
Cuadro 2: Plantas y espigas de maíz m ⁻² para los diferentes tratamientos de fertilización	14
Cuadro 3: Números de granos m ⁻² de maíz para los diferentes tratamientos de fertilización	15
Gráfico 2: Relación entre el rendimiento en grano y el número de granos por unidad de superficie en maíz fertilizado.....	15
Cuadro 4: Peso de los 1000 granos de maíz para los diferentes tratamientos de fertilización.....	16
Gráfico 3: Relación entre el rendimiento en grano y el peso de 1000 semillas por unidad de superficie en maíz fertilizado.....	16
Cuadro 5: Rendimiento en kg ha ⁻¹ de grano de maíz para los diferentes tratamientos de fertilización	17
Cuadro 6: Eficiencia de uso del fertilizante para los diferentes tratamientos de fertilización	18
Gráfico 4: Determinación del umbral crítico de respuesta del maíz.....	19
Cuadro 7: Análisis económico para los diferentes tratamientos de fertilización en el cultivo de maíz.....	20
Cuadro 8: Producto marginal.....	20

RESUMEN

Evaluación de distintos niveles de nitrógeno sobre el rendimiento en el cultivo de maíz.

En la campaña 2003 se realizó un estudio a campo, en la estancia “Santa Emilia” en la localidad de Santa Isabel, Departamento General López, provincia de Santa Fe, con el objetivo de evaluar el efecto de distintos niveles de nitrógeno sobre el rendimiento en grano en el cultivo de maíz. El diseño experimental fue en bloques completamente aleatorizados consistiendo en seis tratamientos de 55, 90, 144, 180, 270 kg de N ha⁻¹, constando cada tratamiento de 13 surcos con tres repeticiones espaciales de 300 metros de largo. A cosecha se determinó el número de plantas, número de espigas, número de granos, peso de mil granos y el rendimiento en kg ha⁻¹. Los resultados obtenidos fueron analizados mediante análisis de varianza y comparación de medias mediante el test de LSD Fisher alfa al 5% de probabilidad. Para el parámetro rendimiento en grano por ha⁻¹ se encontró diferencias estadísticamente significativas debido al agregado de nitrógeno hasta llegar a los 9500 kg grano ha⁻¹ y con un nivel de 165,8 kg de N ha⁻¹, (N suelo + N fertilizante). Los incrementos por encima de este valor en el nivel de nitrógeno, no presentó diferencias estadísticamente significativas. En cuanto a los componentes de rendimiento, el número de granos m⁻² fue el único parámetro que presentó diferencias significativas ante el agregado de nitrógeno. Los tratamientos con menores dosis de nitrógeno fueron los que presentaron una mayor eficiencia en el uso del fertilizante. Económicamente todos los tratamientos obtuvieron resultados positivos, en donde el beneficio aumentó hasta el tratamiento de 314 kg de urea ha⁻¹ siendo el de mayor beneficio marginal, para luego decaer hasta el tratamiento de mayor dosis de nitrógeno que fue el que obtuvo el menor beneficio económico.

Palabras claves: Maíz, fertilización, nitrógeno, rendimiento en grano.

SUMMARY

Evaluation of different nitrogen levels on the yield in grain of the cultivation of corn.

The rehearsal was carried out in the campaign 2003/04, in the stay Santa Emilia in Santa Isabel's town, General Department López, county of Santa Faith, which presented as objective to evaluate the effect of different nitrogen levels on the yield in grain in the cultivation of corn. The experimental design was in totally randomized blocks consisting on six treatments of 55, 90, 144, 180, 270 kg of N/HC, consisting each treatment of 13 furrows with three space repetitions 300 meters long. To crop the number of plants was determined, numbers of spikes, numbers of grains, weight of thousand and the yield in kg/HC. The obtained results were analyzed by means of variance analysis and comparison of stockings by means of the test of LSD Fisher alpha to 5% of probability. For the parameter yield in grain for have-1 he/she was differences statistically significant due to the nitrogen attaché until arriving to the 9500 kg grain have-1 and with a level of 165,8 kg of N/HC , (N soil + N fertilizer). The increments above this value in the nitrogen level, it didn't present differences statistically significant. As for the yield components, the number of grains m⁻² was the only parameter that presented significant differences before the nitrogen attaché. The treatments with smaller nitrogen dose those that presented a bigger efficiency in the use of the fertilizer were. Economically all the treatments obtained positive results where the benefit increased until the treatment of 314 kg of urea/HC being that of more marginal benefit, it stops then to decay until the treatment of more nitrogen dose that the one that obtained the smallest economic benefit was.

Key words: Corn, fertilization, nitrogen, yield in grain.

EVALUACIÓN DE DISTINTOS NIVELES DE NITRÓGENO SOBRE EL RENDIMIENTO EN EL CULTIVO DE MAÍZ.

Introducción y Antecedentes:

El grupo de especies alimenticias más importante del mundo corresponde al de los cereales, en este sentido, de las siete especies más sembradas mundialmente, seis corresponden a cereales, destacando nítidamente el trigo con más de 220 millones de hectáreas anuales, a continuación se ubica el arroz y el maíz, con aproximadamente 150 millones de hectáreas, respectivamente. El trigo y el arroz son destinados prácticamente en forma exclusiva a la alimentación humana, en tanto que en maíz, una parte importante de su superficie cultivada se destina a la alimentación animal (FAO 2006).

A escala nacional, es el tercer cultivo en importancia con el 11% del total de área sembrada, por detrás de la soja con el 47% y del trigo con el 23%. Dentro de los cereales es el segundo cultivo de importancia luego del trigo (SAGPyA ,2006).

La provincia de Santa Fe ocupa el cuarto lugar en cuanto a superficie sembrada detrás de Bs. As., Córdoba y La Pampa, en producción se encuentra en el tercer lugar por detrás de Bs. As. y Córdoba (SAGPyA ,2006).

En Santa Fe, el maíz es el tercer cultivo en importancia en cuanto a superficie sembrada, precedido por los cultivos de soja y trigo en orden de importancia. Iguales tendencias ocurren a nivel del departamento General López (Indec, 2000).

El cultivo de maíz, dentro de los sistemas de producción predominantemente agrícolas como los que se desarrollan en el sur de Santa Fe, es una de las opciones más importantes a tener en cuenta en el momento de definir la rotación a implementar (Desideri, 2003).

La caída de la superficie sembrada del cultivo de maíz a nivel nacional, fue del orden de 6,25% (Indec, 2000).

La principal causa de la disminución del área sembrada con maíz (a nivel nacional, provincial y regional) es la alta inversión que necesitan hacer los productores para implantar este cultivo comparado con la soja, en particular el costo de la semilla y fertilizantes. Pero por otro lado, se conoce su importancia debido a su capacidad de producir rastrojos de calidad, proveedora de materia orgánica y cobertura para los suelos degradados, interrupción de los ciclos de las enfermedades de soja, como así también su capacidad de respuesta a la aplicación de fertilizantes, que lo transforma en una alternativa competitiva (Salvagiotti y Capurro, 2003).

Una de las principales limitantes para obtener mayores rendimientos de maíz en la zona del sur de Santa Fe , es la falta de provisión de nutrientes en forma natural, debido a la extracción producida por años continuos de agricultura sin pasturas y sin una equilibrada reposición de fertilizantes. La fertilización en maíz, se convierte entonces en una herramienta indispensable para el productor, para tener una mayor rentabilidad y competitividad frente a otros cultivos (Salvagiotti y Capurro, 2003).

El nitrógeno es el nutriente más requerido por el maíz, controlando en mayor medida su producción y por ende, tornándolo como el más limitante en diversos suelos bajo agricultura continua (Andrade et al, 1996).

El rendimiento en maíz puede ser estudiado a través de sus componentes numéricos: el número de granos (NG) por unidad de superficie y su peso individual. A su vez, el NG es producto del número de plantas por unidad de superficie, del número de espigas granadas por planta y del número de granos por espiga (Satorre, et al., 2003).

El número de granos por unidad de superficie se define en el periodo que va desde los 15 días antes de la floración hasta los 15 días después de la misma. Una buena disponibilidad de N, especialmente desde los momentos en que los nutrientes son requeridos en altas cantidades, aproximadamente 30-40 días después de la emergencia, aseguran un buen crecimiento foliar, lo que posibilita al cultivo alcanzar y mantener cobertura total y una alta eficiencia de conversión de la radiación interceptada en biomasa. Esto garantiza un óptimo estado fisiológico del cultivo en los momentos decisivos para la determinación del número de granos y el peso de los mismos (Uhart., 1995).

El rendimiento en el cultivo de maíz está más asociado al número final de granos que al peso de los mismos, en términos generales el peso de mil granos se considera como el componente de rendimiento más estable (Satorre et al.,2003).

A pesar de que el número de granos es la variable que mejor explica el rendimiento, cambios en el peso de los granos pueden afectar el rendimiento final del cultivo una vez establecido el número de granos. Siendo la etapa de definición del peso de los mil granos la comprendida entre la floración y la madurez fisiológica del cultivo. Hay evidencias que indican, en la mayoría de los casos, que el crecimiento de los granos esta más fuertemente restringido por características propias de los mismos y por efectos ambientales, que por la provisión de carbohidratos desde el resto del canopeo (Miralles y Slafer 2001).

La fertilización no es una técnica que se caracterice por su autonomía, todo lo contrario, se complementa con otras técnicas de cultivo, de modo que los fertilizantes, por sí solos, no garantizan excelentes resultados (Christensen y Muriado, 2003).

El análisis de suelo es la herramienta básica y fundamental para determinar los niveles de fertilidad de cada lote y diagnosticar la necesidad de fertilización. Es importante conocer las características climáticas de la zona y del suelo. Con referencia al cultivo es importante conocer el manejo para definir el plan de fertilización (García, 2001).

El mismo autor estableció distintos niveles de probabilidad de respuesta a la fertilización según el nivel de nitrógeno disponible a la siembra; con valores menores de 100 kg/ha de nitrógeno se obtiene una alta probabilidad de respuesta, entre 100 y 150 kg/ha una moderada probabilidad y por encima de los 150 kg/ha se obtiene una muy baja probabilidad de respuesta a la fertilización (García, 2002).

La determinación de N como nitratos hasta los 60 cm de profundidad, es una práctica generalizada en gran parte del área maicera pampeana, recomendándose la corrección con fertilizantes hasta lograr niveles de disponibilidad (N suelo + N fertilizante) que varían según regiones y rendimientos alcanzables por los cultivos. Por ejemplo para el Norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe, en condiciones de secano, los niveles críticos por encima del cual no se producen incrementos en el rendimiento es de 150 kg/ha, siendo menores hacia el oeste del área y Entre Ríos (Andrade y Sadras, 2000 y García et al., 2002).

La eficiencia con la que los cultivos utilizan el nutriente aplicado es de suma importancia económica, dado que está relacionada directamente con el beneficio de la fertilización. La eficiencia puede ser expresada como las unidades de producto generada por unidad de nutriente aplicado, o como la proporción del nutriente adicionado que absorbe el cultivo (Melgar y Caamaño, 1998).

En la década del 70 se realizaron numerosos ensayos de fertilización de maíz con urea, en éstos se observó una gran dispersión en la respuesta al fertilizante con una eficiencia agronómica promedio de 12 kg de grano por kg de N aplicado, llegando a máximos de 30. La disponibilidad de nuevos materiales genéticos, junto con prácticas de manejo, control de malezas y plagas mas ajustadas, ha permitido que el promedio de eficiencia agronómica de la última década aumente los rendimientos entre 20 y 40 kg de maíz/kg N (Melgar y Caamaño, 1998).

En base a lo explicado cobra importancia la realización de este trabajo con el objetivo de evaluar el efecto de distintos niveles de nitrógeno sobre el rendimiento en grano del cultivo de maíz en el sur de la provincia de Santa Fe.

Hipótesis:

Distintos niveles de fertilización nitrogenada afectan los componentes del rendimiento y por ende el rendimiento en el cultivo de maíz.

Objetivos generales:

- Evaluar el efecto de distintos niveles de fertilización sobre el rendimiento en el cultivo de maíz en el sur de Santa Fe.

Objetivos específicos:

- Determinar la dosis de fertilizante nitrogenado en la cual se obtiene el mayor rendimiento en grano.
- Evaluar los componentes del rendimiento.
- Determinar el umbral crítico de nitrógeno disponible a partir del cual no se obtendrían incrementos en el rendimiento.
- Estimar los resultados económicos, en relación a la cantidad de fertilizante utilizado y a la producción obtenida.

Materiales y métodos:

El ensayo se realizó en la Estancia “Santa Emilia” en la localidad de Santa Isabel, Departamento General López, Provincia de Santa Fe.

El mismo se sembró el 20 de septiembre de 2003, sobre un suelo Hapludol típico de textura franca, perteneciente a la serie Santa Isabel.

El lote donde se realizó el ensayo proviene de un uso agrícola intensivo, siendo el cultivo antecesor soja de segunda.

La siembra se realizó bajo el sistema de siembra directa, usando una sembradora Agrometal, de 13 surcos, distanciados a 70 cm a una densidad de 6 plantas m⁻¹ lineal, utilizando el híbrido simple Dekalb 682 MG.

Cuadro 1: Análisis de suelo en pre-siembra.

Profundidad 0 a 20 cm		Ppm	Kg/ha
PH	0-20	6,1	
P (Bray) ppm	0-20	17,4	44,9
Materia orgánica %	0-20	3,2	8,25
Azufre-SO ₄ ppm:	0-20	9,0	23,4

Determinación	Prof cm	Ppm	Kg/ha
NO ₃ :	0-20	18,2	47,3
NO ₃ :	20-40	12,4	32,2
NO ₃ :	40-60	6,5	16,9
NO₃ Total:			96,5
N – NO₃			21,8

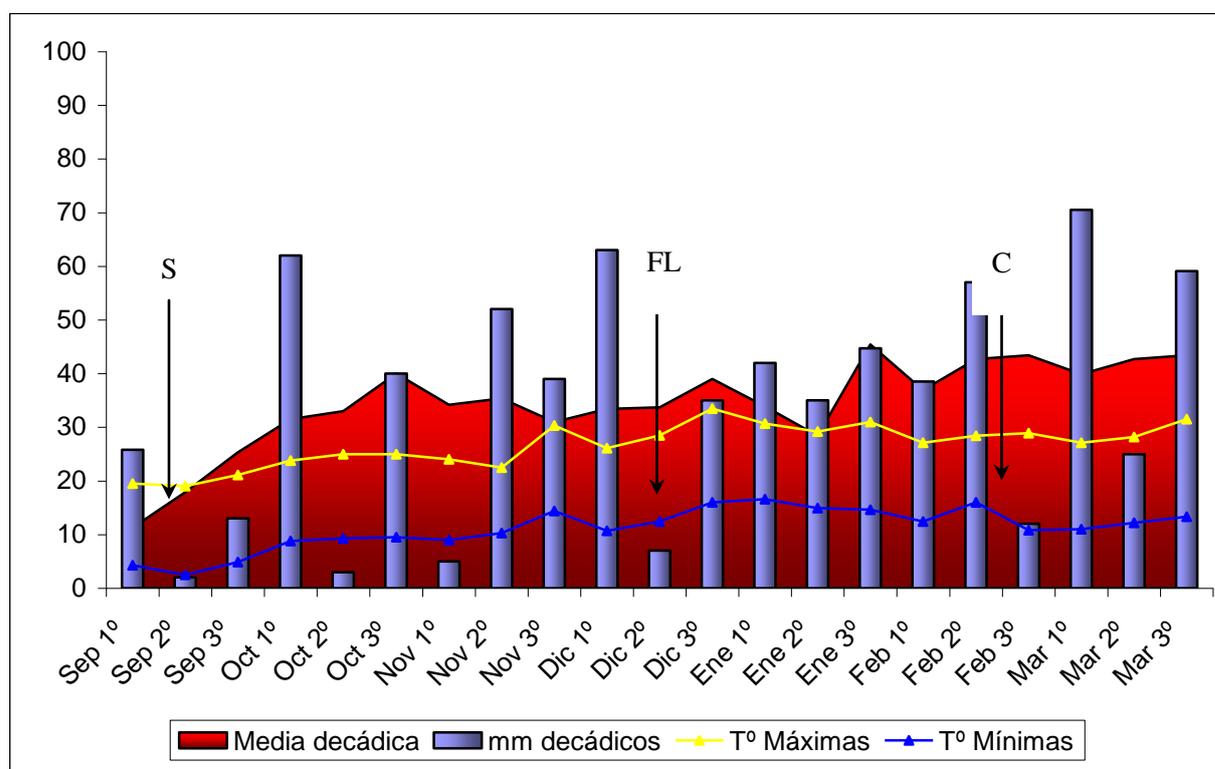
Fuente: Laboratorio “Estudio agronómico Venado Tuerto”.

La fertilización fosfatada se realizó al momento de la siembra con 70 kg/ha de Fosfato Diamónico (18-46-0) para todos los tratamientos, si bien los niveles de ppm de fósforo en el suelo se consideraron suficientes, el objetivo de la misma fue, que oficiara como arrancador y cubrir con la necesidades iniciales del cultivo.

La fertilización Nitrogenada se realizó con Urea incorporada (46-0-0) al estado ontogénico V₆ (Ritchie and Hanway, 1982).

El registro de las variables meteorológicas fueron aportadas, en el caso de las temperaturas máximas y mínimas, por el servicio meteorológico del aeródromo de Venado Tuerto, y las precipitaciones por el mismo establecimiento.

Gráfico 1: Precipitaciones decádicas y temperaturas durante el ciclo del cultivo (Estancia “Santa Emilia”).



Referencias: S: Siembra.

FL: Floración.

C: Cosecha.

El diseño experimental fue en bloques completamente aleatorizados, consistiendo en 6 tratamientos de 0, 120, 196, 314, 392, 588, kg de urea ha^{-1} o su equivalente de 0, 55, 90, 144, 180, 270 kg de N ha^{-1} , constando cada tratamiento de 13 surcos, distanciados a 0,70 m entre hileras de 300 m de largo con tres repeticiones espaciales.

Al momento de la cosecha se determinó, el número de plantas, número de espigas, cada muestreo se efectuó sobre 7.15 m lineales. En laboratorio se determinó el número de grano m^{-2} , el peso de mil granos y el rendimiento ha^{-1} .

Los resultados obtenidos fueron evaluados mediante ANAVA y comparación medias mediante el test de LSD Fisher Alfa al 5 % de probabilidad, empleando el paquete estadístico INFOTAT. (Infostat, 2002).

Una vez obtenido los datos de rendimientos, se procedió al análisis económico, teniendo en cuenta el precio del fertilizante y el valor de cotización del cereal.

Resultados:

Determinación de plantas y espigas por metro cuadrado

En el *Cuadro 2* se observa que el número de plantas ha^{-1} y el número de espigas ha^{-1} a cosecha, en los diferentes tratamientos, no presentaron diferencias estadísticamente significativas. La fertilización nitrogenada no modificó estos componentes del rendimiento.

Cuadro 2: Plantas y espigas de maíz m^2 para los diferentes tratamientos de fertilización.

Tratamiento (Kg N)	Plantas m^2	Espigas m^2
270	82584 a	84024 a
180	81918 a	82362 a
144	82140 a	82695 a
90	81807 a	82695 a
55	82805 a	82695 a
Testigo	81355 a	82031 a
CV	1.24	1.22
DMS	1799	1794

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). CV: Coeficiente de variación. DMS: Valor de la desviación estándar.

Determinación del número de granos por metro cuadrado.

Con referencia al número de granos m^2 se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre el testigo y los tratamientos fertilizados.

Los tratamientos de 270, 180 y 144 kg de N ha^{-1} no presentan diferencias estadísticas entre sí, pero si son superiores y distintos estadísticamente con el resto.

En cuanto a los tratamientos de 90 y 55 kg de N ha^{-1} no presentan diferencias estadísticas entre sí, pero superan y difirieren estadísticamente con el testigo.

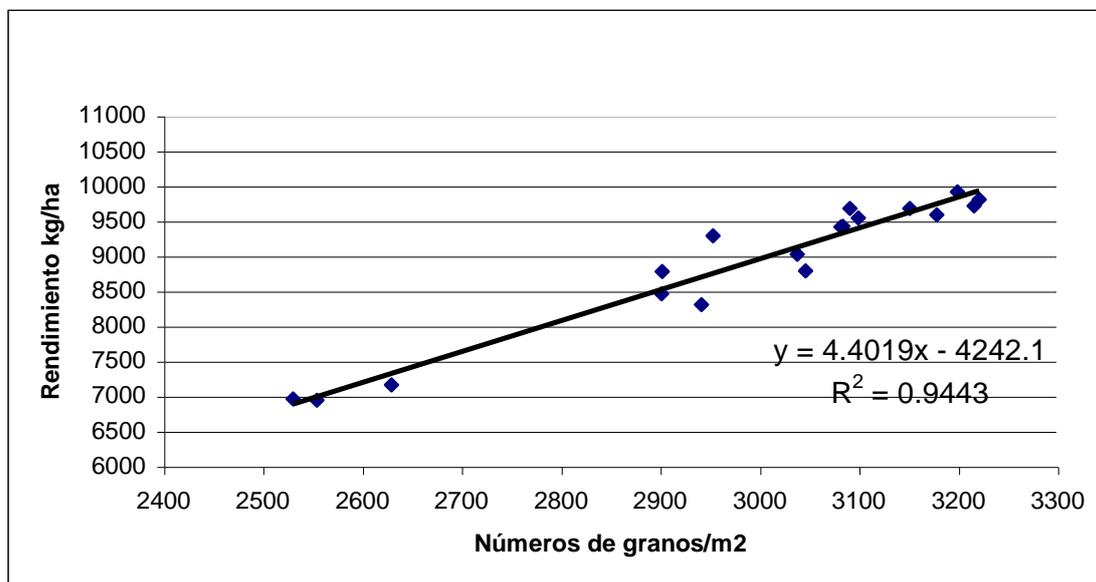
(*Cuadro 3*).

Cuadro 3: Números de granos m² de maíz para los diferentes tratamientos de fertilización.

Tratamiento (Kg N)	Número de granos/m ²
270	3163 a
180	3144 a
144	3132 a
90	2964 b
55	2963 b
Testigo	2571 c
CV	2,20
DMS	117,19

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). CV: Coeficiente de variación. DMS: Valor de la desviación estándar.

Gráfico 2: Relación entre el rendimiento en grano y el número de granos por unidad de superficie en maíz fertilizado.



Observando el gráfico 2 se comprueba una asociación significativa existente entre el número de grano y el rendimiento ($R^2 = 0,94$); aumentos en dicho componente del rendimiento va relacionado con aumentos en el rendimiento.

Determinación del peso de los 1000 granos.

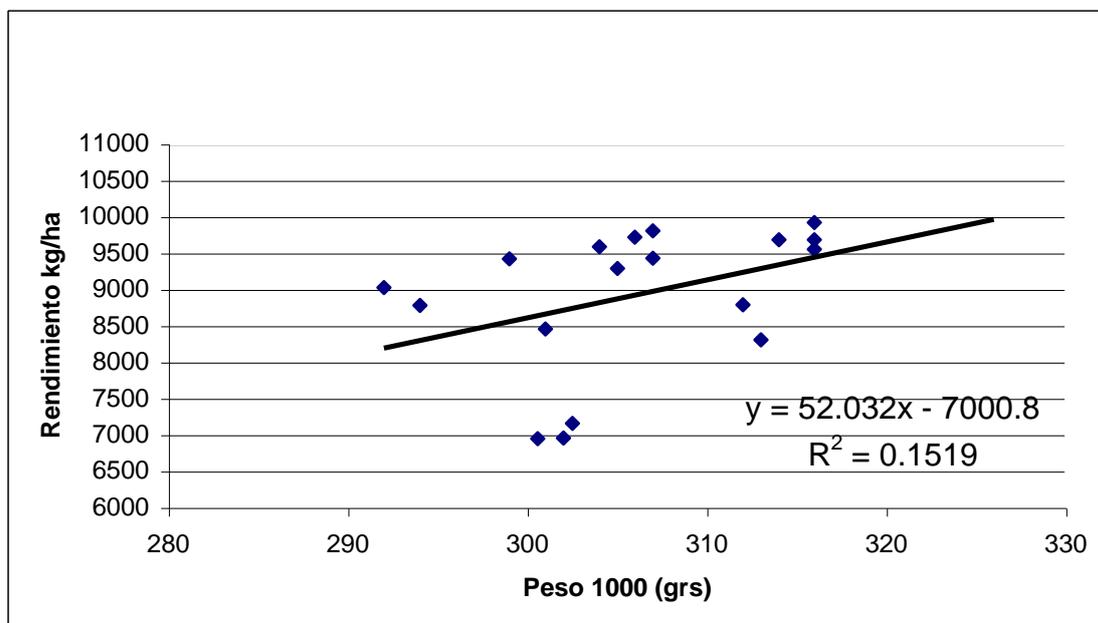
En el Cuadro 4 se observa que el peso de 1000 granos no presenta diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos.

Cuadro 4: Peso de los 1000 granos de maíz para los diferentes tratamientos de fertilización.

Tratamiento (Kg N)	Peso 1000 granos (g)
270	306,5 a
180	307,8 a
144	305,3 a
90	304,8 a
55	305,5 a
Testigo	308,3 a
CV	1,69
DMS	8,96

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). CV: Coeficiente de variación. DMS: Valor de la desviación estándar.

Gráfico 3: Relación entre el rendimiento en grano y el peso de 1000 semillas por unidad de superficie en maíz fertilizado.



Observando el *gráfico 3* se comprueba la escasa asociación entre el peso de mil granos y el rendimiento ($R^2 = 0,15$); la baja variabilidad de dicho componente del rendimiento hace que su influencia sobre la determinación del rendimiento sea baja o nula.

Determinación del rendimiento.

El análisis estadístico de las medias de cada tratamiento nos revela un efecto altamente significativo de las distintas dosis de nitrógeno (*Cuadro 5*).

Los mayores rendimientos se obtuvieron en las tres dosis más altas de fertilizante utilizado (270, 180 y 144 Kg N ha⁻¹), los cuales no presentan diferencias estadísticamente significativas entre ellos, si presentando diferencia con el resto de los participantes.

Los tratamientos de 90 y 55 Kg N ha⁻¹, difieren estadísticamente entre ellos y a su vez con el testigo.

Cuadro 5: Rendimiento en kg/ha de grano de maíz para los diferentes tratamientos de fertilización y el testigo.

Tratamiento (Kg N)	Rendimiento (Kg/Ha)
270	9693,33 a
180	9676,67 a
144	9563,33 a
90	9033,33 b
55	8520,00 c
Testigo	7023,33 d
CV	2,22
DMS	351,52

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). CV: Coeficiente de variación. DMS: Valor de la desviación estándar.

Eficiencia de uso del fertilizante (EUF).

En el *Cuadro 6* se observa que la respuesta al N fue en general alta, lo que se explica por los bajos valores de nitratos encontrados en el suelo al inicio de la siembra (*Cuadro 1*). Los mayores valores de EUF se obtuvieron con la menor dosis de 55 kg de N ha⁻¹, a partir de allí la misma empieza a disminuir hasta llegar al valor mínimo de EUF que le corresponde al tratamiento de mayor dosis de N (270 kg N ha⁻¹).

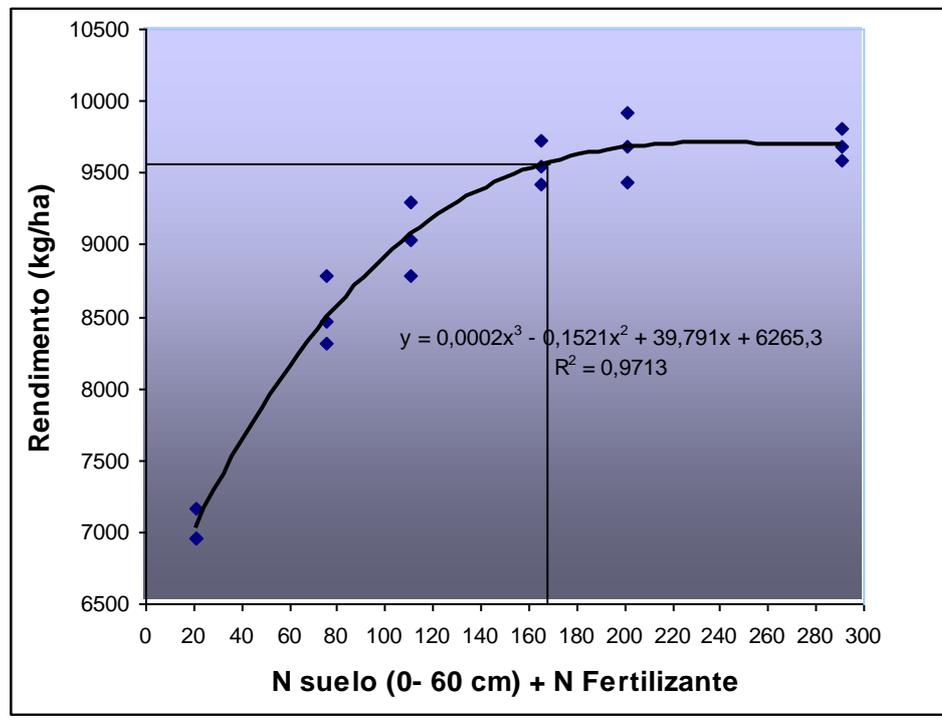
Incrementos de 1500 kg ha⁻¹ con el tratamiento de menor fertilización por sobre el testigo, demuestra los buenos valores obtenidos en la eficiencia de uso del fertilizante.

Cuadro 6: Eficiencia de uso del fertilizante para los diferentes tratamientos de fertilización.

kg N	Rend ha ⁻¹ (kg ha ⁻¹)	Respuesta (kg ha ⁻¹)	Efic uso N (kg grano/ kg N)
0	7023,3	-	-
55	8520,0	1496,7	27,2
90	9033,3	2010,0	22,3
144	9563,3	2540,0	17,6
180	9676,7	2653,3	14,7
270	9693,3	2670,0	9,9

Determinación del umbral crítico.

Gráfico 4: Determinación del umbral crítico de respuesta del maíz a la fertilización.



y = rendimiento (kg/ha) (variable dependiente).

x = N en el suelo + N del fertilizante. (variable independiente).

R^2 = ajuste al modelo matemático.

Observando el *Gráfico 4* se comprueba que la curva aumenta en forma progresiva hasta llegar a un punto en donde empieza a estabilizarse con una disponibilidad de nitratos en V_6 de 165,8 kg^{-ha} y un rendimiento promedio de 9500 kg^{-ha}. Por encima de este nivel, incrementos en el nivel de nitrógeno no van a ser reflejados con aumentos en el rendimiento.

Análisis económico de la fertilización.

Cuadro 7: Análisis económico para los diferentes tratamientos de fertilización en el cultivo de maíz.

Tratamiento (kg N/ha)	Costo tratamiento por ha	Diferencial de rendimiento	Ingreso marginal	Beneficio marginal	Tasa retorno marginal	Margen bruto efectivo \$/ha.
0	\$ 0,00	0,0	\$ 0,0			1.102,47
55	\$ 102,00	1496,7	\$ 356,2	\$ 254,21	2,49	\$ 1.458,7
90	\$ 166,60	2010,0	\$ 478,4	\$ 311,78	1,87	\$ 1.580,9
144	\$ 266,90	2540,0	\$ 604,5	\$ 337,62	1,26	\$ 1.707,0
180	\$ 333,20	2653,3	\$ 631,5	\$ 298,29	0,90	\$ 1.734,0
270	\$ 499,80	2670,0	\$ 635,5	\$ 135,66	0,27	\$ 1.737,9

Todos los tratamientos arrojaron resultados desde el punto de vista económico positivos (*Cuadro 7*).

El mejor beneficio marginal lo obtuvo el tratamiento de 144 kg de N ha⁻¹, o de 314 kg urea ha⁻¹ con un retorno de 1,26 \$ por cada peso invertido en la fertilización.

El tratamiento de mayor dosis obtuvo el menor beneficio marginal retornándole apenas 0,27 \$ por cada peso invertido en la fertilización.

El tratamiento de menor dosis es el de mayor tasa de retorno.

Cuadro 8: Producto marginal.

INSUMO (Kg N/ha)	PRODUCTO Rendimiento/ha	PRODUCTO MARGINAL
0	7023	
55	8520	27,2
90	9033	14,6
144	9563	9,8
180	9676	3,14
270	9679	0,19

$$\text{Producto marginal} = \frac{\text{Precio fertilizante}}{\text{Precio maíz}} = \frac{0,85}{0,238} = 3,6$$

El producto marginal de 3,14 y 9,8 correspondiente a los tratamientos de 144 y 180 kg de N^{ha} conforman el rango de dosis óptima de fertilización determinado por la relación del precio del fertilizante y el maíz de 3,6.

Datos de referencias (www.agrositio.com.ar)

Valores de referencia

Urea 0,85 \$/kg (Abril 2004)

Precio de referencia (\$/qq) (Pizarra Rosario 01/04/04 = 27,51

% descuento de comercialización 13,5

Precio a productor (\$/qq) 23,8

Rendimiento testigo (kg/ha) 7023,33

Margen bruto del testigo (\$/ha): \$1102,47

Discusión:

Se pudo comprobar la importancia del nitrógeno en la producción del maíz ya citada por Andrade (1996). En cuanto a los componentes del rendimiento, se pudo observar un marcado efecto de la fertilización nitrogenada sobre el número de granos m^2 siendo el componente que más se asoció con el rendimiento (*Gráfico 2* R^2 del 0.94 %) y el de mayor variabilidad entre los distintos tratamientos, coincidiendo con Andrade *et al.* (1996) como el componente de más incidencia en el rendimiento, presentando una diferencia del 23% entre los valores de número de granos mínimos y máximos.

Coincidiendo con Miralles y Slafer (2001), como se observa en el (*Gráfico 3* R^2 0.15) el peso de los mil granos no tuvo una mayor incidencia sobre el rendimiento al no presentar diferencias significativas estadísticamente entre los tratamientos

Eficiencia en el uso del Nitrógeno.

La marcada eficiencia de uso del nitrógeno medida en este ensayo, con valores medios máximos de casi 25 kg grano kg^{-1} N resulta en una alta eficiencia de uso del nitrógeno, la que sólo descendió por debajo de los 15 kg de grano kg^{-1} N con las dosis mayores de 180 y 270 $kg N ha^{-1}$, estos resultados se encuentran dentro de los rangos obtenidos por Melgar y Caamaño, (1998). Los bajos valores de nitrógeno inicial, obtenido en el análisis de suelo realizado en pre-siembra (*Cuadro 1*) y la favorable cantidad y distribución de las precipitaciones durante el ciclo del cultivo (*Gráfico 2*) fueron determinantes para la obtención de una alta respuesta a la fertilización.

Esta marcada respuesta se puede observar con incrementos de 1500 y 2000 $kg ha^{-1}$ por encima del testigo, en los tratamientos de 55 y 90 $kg N$ respectivamente, y de 2500 $kg ha^{-1}$ en los tratamientos restantes.

En cuanto al umbral crítico, en el cual la respuesta a la fertilización empieza a estabilizarse (*Gráfico 1*) se da en el tratamiento de 144 $kg de N ha^{-1}$ más los 21,8 $kg de N ha^{-1}$ iniciales en el suelo, lo que hacen un total de 165,8 $kg de N ha^{-1}$; valor próximo a los encontrados, para el sur de Santa Fe, por García (2002) y Andrade y Sadras, (2000) de 150 $Kg de N ha^{-1}$.

Análisis Económico

Desde el punto de vista económico el tratamiento de 144 $kg N^{-ha}$ es el que presenta el mayor beneficio marginal, con una tasa de retorno de \$1,26 o sea que por cada peso invertido en fertilizante, recuperamos \$1,26.

Los demás tratamientos tuvieron resultados económicos igualmente positivos; el tratamiento de menor dosis (55 kg N ha^{-1}) tuvo la mayor tasa de retorno y un aceptable beneficio marginal, pero teniendo en cuenta, a la hora de buscar la opción más eficiente desde el punto de visto productivo y económico vemos que con dicha dosis no se alcanza el máximo nivel de producción, ni el mayor beneficio económico.

Los tratamientos de 144 y 180 kg N ha^{-1} conforman el rango de dosis de fertilización óptima determinado por la relación del precio del fertilizante y del maíz, dentro de este rango obtendremos los más altos beneficios marginales con una aceptable eficiencia de uso del fertilizante.

El alto valor de EUF que presenta el tratamiento de 55 kg N ha^{-1} , nos demuestra que el N que tuvo al alcance, lo aprovechó eficientemente debido a que la oferta del mismo no fue lo suficiente como para explotar el potencial del cultivo y del ambiente.

A medida que aumentamos la dosis de fertilizante, el beneficio marginal aumenta hasta llegar a la dosis de 144 Kg N ha^{-1} (que tiene el mayor beneficio), luego el mismo empieza a disminuir hasta llegar al menor beneficio que lo posee la mayor dosis (270 kg N ha^{-1}).

Con los tratamientos de mayores dosis (180 y $270 \text{ kg de N ha}^{-1}$) la fertilización pierde eficiencia, altos contenidos de N pueden ser utilizados por el cultivo sólo en situaciones en donde la disponibilidad hídrica, como factor no limitante, eleve el umbral de máxima producción modificando los valores de eficiencia de la fertilización y resultados económicos.

Conclusión:

- Para las condiciones de secano en donde se llevó a cabo el ensayo, por encima de 165,8 kg N ha⁻¹ a la siembra, no se obtienen incrementos significativos en el rendimiento de grano de maíz.
- El número de granos por metro cuadrado, fue el componente que más se relacionó con el rendimiento.
- Se obtuvieron altas eficiencias de uso del fertilizante (EUF) en los tratamientos de menores dosis con un promedio de 25 kg de granos por kg⁻¹ de nitrógeno agregado.
- La fertilización nitrogenada en todos los tratamientos arrojó beneficios marginales positivos.
- Hay que tener en cuenta que los resultados son solamente válidos para el área de influencia donde se llevó a cabo el ensayo y en las condiciones ambientales y fitosanitarias presentes en el año en que se realizó dicha investigación.

Bibliografía:

ANDRADE, F.H y V.O SADRAS 2000. Bases para el manejo del maíz, el girasol, y la soja. Capítulo 3. "Crecimiento y rendimiento comparados".

ANDRADE, F. H. ; H. E. ECHEVARRIA ; N. S. GONZALEZ ; S. UHART y N. DARWICH. 1996. Requerimientos de nitrógeno y fósforo de los cultivos de maíz, girasol y soja. CERBAS, EEA INTA Balcarce, Boletín Técnico 134. 17 p.

www.agrositio.com/secciones/granos/. Consultado: 06/06/04.

CHRISTENSEN, J. y A. MURIADO 2003. Fertilización del maíz. Agroconnection S.A.

DESIDERI, C. 2003. Ministro de la producción. Gobierno de la provincia de Santa Fe.. Fuente: www.santafe.gov.ar

FAO - ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (2006) En: http://www.fao.org/index_es.htm.

Consultado: 01/12/2006

GARCIA, F. O. Abril 2001. Fertilización de maíz en la región pampeana. Jornada para profesionales "Producción de maíz" EEA Oliveros.

GARCIA, F.O. Junio 2002. Trabajo Presentado en el Congreso "Maíz: Una oportunidad para la sustentabilidad de la agricultura y sus empresas". SEMA. Buenos Aires.

GARCÍA F.O; SATORRE E., y OTEGUI M. 2002. Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo de maíz. Aproximaciones zonales. En: SATORRE, E. (Ed.), Guía Dekalb del cultivo de maíz, SEMA, Buenos Aires (Arg.), 57-75.

INDEC 2000. Encuesta nacional agropecuaria (ENA). Provincia de Santa Fe.

INFOSTAT 2002. Infostat, versión 2.0. Grupo Infostat-FCA. UNC. Ed. Brujas, Córdoba. Argentina

MELGAR R., y A. CAAMAÑO, 1998. Fertilización con nitrógeno, fósforo y azufre en maíz de alta productividad. EEA Pergamino. Rev. Tecnología Agropecuaria V II N° 5 PP 11-14.

MIRALLES D. y G. SLAFER 2001. Desarrollo, crecimiento y determinación de los componentes del rendimiento. Cuaderno de Actualización técnica N° 63. CREA. Pag: 10-17.

- RITCHIE, S. and HANWAY J. J. 1982. How a corn plant develops. Iowa State Univ. of Science and Technology. Coop. Ext. Service. 48 p.
- SALVAGIOTTI, F. y J CAPURRO. Edición 2003. Ediciones (INTA) Para mejorar la producción de maíz. EEA Oliveros, Campaña 2001/2002 y 2002/2003. Ediciones INTA.
- SATORRE, E.H, M.E OTEGUI , y G. MADDONNI 2003. Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Capítulo 8. “Ecofisiología del cultivo de maíz”. Editorial FAUBA.
- SAGPyA. SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, PESCA Y ALIMENTACIÓN 2006. Estimaciones agrícolas- Maíz En: <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/agricultura/otros/estimaciones/cultivos/index.php> Consultado: 01/12/2006
- UHART, S.A. 1995. Efecto de la disponibilidad de nitrógeno y carbono sobre la determinación del número de granos y del rendimiento del maíz. Tesis Dr.Univ. Nac. de Mar del Plata.