



Proyecto Regional Agrícola Desarrollo Rural

Estación Experimental Agropecuaria Pergamino "Ing. Agr. Walter Kugler"

RESPUESTA DEL MAÍZ A DOSIS CRECIENTES DE NITRÓGENO UTILIZANDO FUENTES LÍQUIDAS EN COMBINACIÓN CON INHIBIDORES DE LA NITRIFICACIÓN CAMPAÑA 2008/09

Ings. Agrs. Gustavo N. Ferraris¹
Lucrecia A. Couretot¹

Introducción:

La pérdida de Nitrógeno (N) bajo la forma química de nitratos puede ocasionar una baja eficiencia de los fertilizantes aplicados. El N en forma nítrica puede perderse por nitrificación, siendo el ambiente predisponente condiciones reductoras por un estado saturación de humedad que llega a causar anoxia, en un potencial redox difícilmente alcanzable en suelos agrícolas. Otra vía de pérdidas puede ser la lixiviación, proceso importante en suelos bien drenados y de textura franca a franco-arenosa, que poseen agua libre gravitacional durante un período de tiempo relativamente breve. La lixiviación de nitratos es un proceso importante en suelos agrícolas, especialmente cuando se realizan aplicaciones tempranas, antes que los cultivos lleguen a la etapa de máxima demanda.

El cultivo de maíz presenta requerimientos elevados de N a partir del estado de seis hojas expandidas (V6). No obstante ello, su aplicación en este momento implica una superposición temporal con la siembra de soja, el cultivo que más superficie ocupa en nuestro país. El agregado de este nutriente a la siembra o en estadíos muy tempranos de maíz posibilitaría un diferimiento de labores optimizando el uso de maquinaria y personal. Sin embargo suele dificultar el diagnóstico nutricional, e incrementa el riesgo de pérdidas por lixiviación. El uso de un inhibidor como acompañante de las fuentes nitrogenadas tradicionales permitiría sincronizar la oferta de N nítrico con la demanda del cultivo, mitigando eventuales pérdidas en condiciones predisponentes.

El DMPP (3,4-Dimetilpirazol fosfato) es un inhibidor de la nitrificación que retrasa la transformación del amonio a nitrito en el suelo durante un periodo de tiempo (Trenkel, 1997), por medio de un efecto inhibidor bacteriostático sobre las Nitrosomonas, bacterias responsables de este proceso. Su formulación, actividad en bajas dosis y ausencia de toxicidad para las plantas hacen factible su utilización en suelos agrícolas debiendo su eficacia ser evaluada.

Los objetivos de este trabajo fueron 1. Evaluar la respuesta del maíz a la fertilización con dosis crecientes de N y 2. Estudiar el efecto del inhibidor DMPP sobre la producción de nitratos y el rendimiento del cultivo. Hipotetizamos que el cultivo de maíz responde incrementando sus rendimientos hasta dosis elevadas de N, pudiendo su eficiencia de uso ser mejorada cuando es acompañado por un inhibidor que sincroniza la producción de nitratos con la demanda del cultivo

Materiales y métodos:

Se condujo un ensayo de campo en la localidad de Pergamino, sobre un suelo serie Pergamino 1, fase ligeramente erosionada, Clase de uso 1 de muy buena productividad. Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones y siete tratamientos, cuya descripción se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1: Tratamientos de fertilización con Nitrógeno (N) y el inhibidor DMPP en Maíz. Pergamino, campaña 2008/09.

Trat	Denominación	Forma de aplicación	Momento de aplicación
T1	Testigo		
T2	N 100 kg ha ⁻¹	chorreado	siembra
T3	N 100 kg ha ⁻¹ + DMPP	chorreado	siembra
T4	N 150 kg ha ⁻¹	chorreado	siembra
T5	N 150 kg ha ⁻¹ + DMPP	chorreado	siembra
T6	N 200 kg ha ⁻¹	chorreado	siembra
T7	N 200 kg ha ⁻¹ + DMPP	chorreado	siembra

El ensayo se sembró el día 10 de Octubre de 2008 en SD, con antecesor trigo/soja, utilizando el híbrido Syngenta NK 910. La fuente de N fue Sol Mix, combinado para proveer nitrógeno (N) en dosis variable según tratamiento, y azufre (S) a la dosis de 15 kgS ha⁻¹ como (TSA 12-0-0-26S). Cuando correspondió al tratamiento, se agregó DMPP 0,9% p/v (0,9 l DMPP / 100 kg SolMix). Todo el experimento fue fertilizados con 20 kg Pha⁻¹ localizado a la siembra.

Por su parte, el análisis de suelo del sitio experimental se presenta en la Tabla 2. Se destaca un nivel de Materia orgánica y N relativamente bajo, normal de P y muy bajo de S. Las bases de cambio presentan un valor adecuado. El sitio podría caracterizarse como de fertilidad media a baja.

Tabla 2: Análisis de suelo al momento de la siembra

Bloque	Prof. (cm)	MO (%)	pH	Ntotal	N-NO3 ppm	N-NO3 kg/ha	P-Bray	S-SO4	K	Mg	Ca
							ppm				
Bloque 1	0-20	2,29	5,8	1,14	8,0	20,8	22,5	1	469	122	1648
"	20-40				7,0	18,2					
"	40-60				3,5	9,1					
Bloque 2	0-20	2,48	5,9	1,24	9,0	23,4	16,9	2	587	122	1808
"	20-40				7,0	18,2					
"	40-60				3,5	9,1					
Bloque 3	0-20	2,83	5,8	1,41	13	33,8	17,0	2	469	122	1696
"	20-40				11	28,6					
"	40-60				5,5	14,3					
Promedio	0-20	2,53	5,8	1,26	10,0	26,0	18,8	1,7	508,3	122	1717,3
	20-40				8,3	21,7					
	40-60				4,2	10,8					

Se determinó el vigor de planta de manera cualitativa en V4 (4 hojas expandidas) y Vt (floración masculina) (escala de Ritchie & Hanway, 1983). En V6 se midió el contenido de N-Nitratos a 30 cm de profundidad. En floración plena (R2) se realizaron mediciones de altura de plantas e inserción de la espiga, número de hojas verdes fotosintéticamente activas y senescentes, y se determinó la intensidad de verdor en hoja por medio del medidor de clorofila Minolta Spad 502. Este brinda una medida adimensional, no destructiva e indirecta del contenido de N foliar. Permite a la vez, cuantificar en forma objetiva y con mayor sutileza que la del ojo humano, eventuales diferencias entre tratamientos.

La cosecha se realizó en forma manual, con trilla estacionaria de las muestras. Sobre una alícuota de cosecha se analizaron los componentes del rendimiento, número (NG) y peso (P1000) de los granos. Para el estudio de los resultados se realizaron análisis de la varianza, comparaciones de medias y análisis de correlación.

Condiciones ambientales de la campaña

En la Figura 1 se presentan las precipitaciones del sitio durante el ciclo de cultivo, y en la Figura 2 las temperaturas, horas de luz y el coeficiente fototermal (Q) entre el 10 de Diciembre y el 10 de Enero, etapa que abarca el período crítico para la definición de los rendimientos del sitio. Las precipitaciones fueron escasas durante todo el período de cultivo. El déficit total acumulado, calculado como la diferencia entre la evapotranspiración real y potencial, alcanzó a 323 mm (Figura 1). Las condiciones de luminosidad no fueron restrictivas (Figura 2).

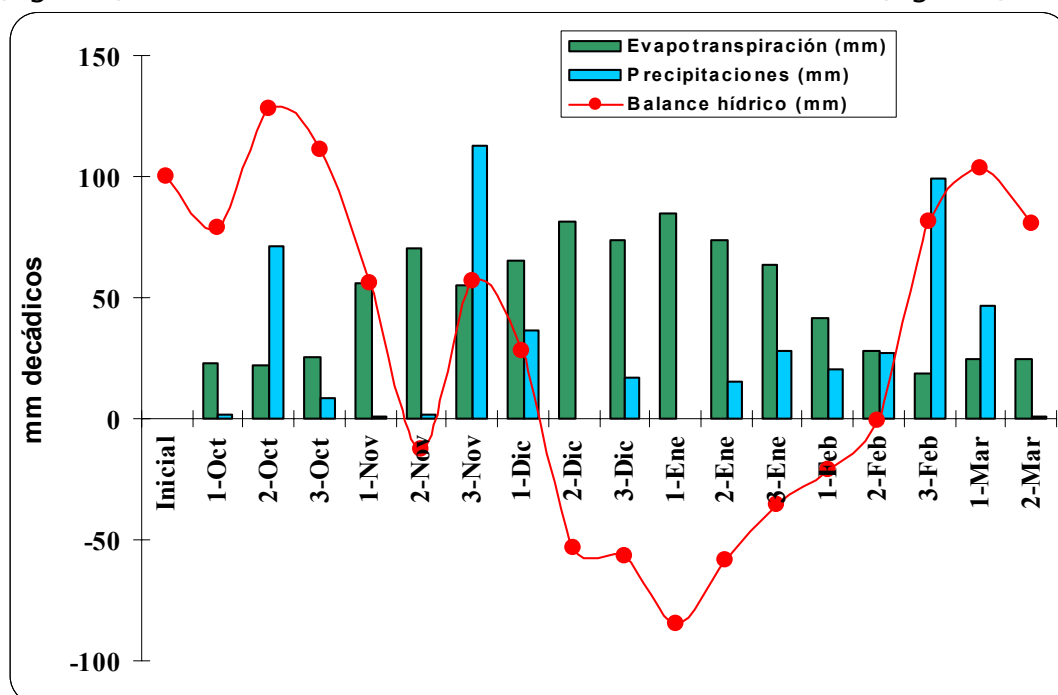


Figura 1: Precipitaciones decádicas acumuladas (mm) en el sitio experimental. Pergamino, campaña 2008/09. Déficit (evapotranspiración potencial – evapotranspiración real) 323 mm.

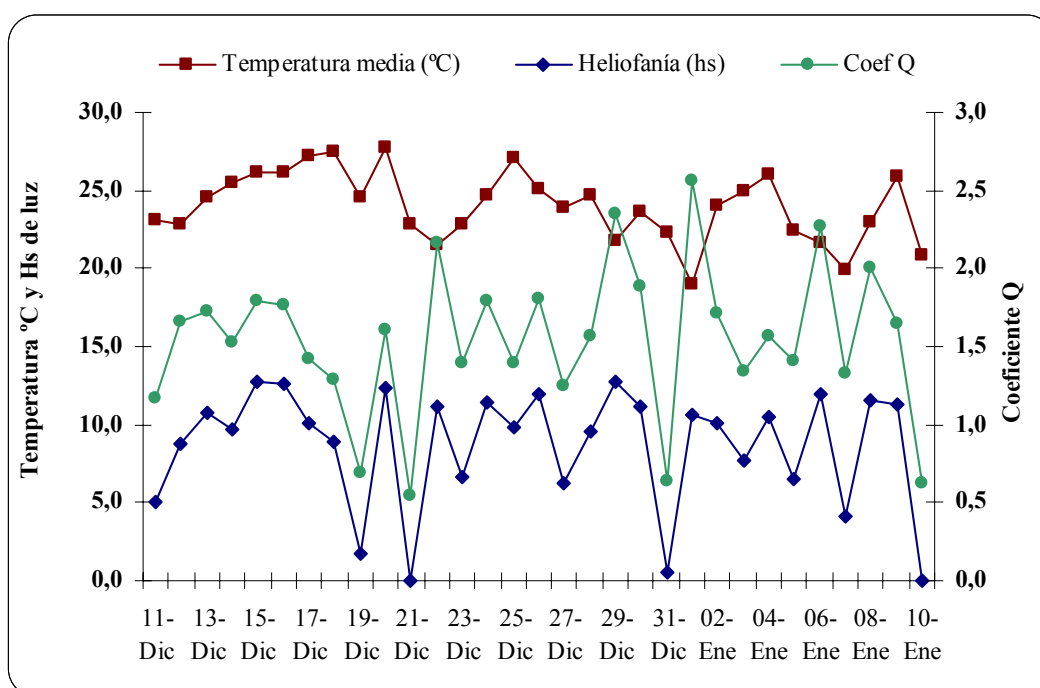


Figura 2: Insolación (en hs y décimas de hora) y temperatura media (°C) diarias para el período 10 de Diciembre – 10 de Enero, en el transcurso del cual se ubicó la etapa crítica para la definición de los rendimientos. Localidad de Pergamino, (Bs As), campaña 2008/09.

Resultados y discusión

En la Tabla 3 se presentan algunos parámetros determinados en el ensayo. Los indicadores de vigor, altura, número de hojas verdes y lecturas Spad acompañaron la tendencia de incremento con la dosis de N, siendo el contraste más marcado entre N100 y N0. La deficiencia de N fue tan marcada que hasta la altura de las plantas se vio disminuida. En forma general, a igual dosis de N los valores de estas variables fueron superiores cuando no se usó el inhibidor, especialmente para las dosis más bajas. Esto sería consecuencia de una mayor disponibilidad de N-nitratos en los primeros estadios de crecimiento, tal como sugiere la medición de los mismos en V6 (Figura 3). En esta variable, nuevamente se reflejó un claro contraste entre tratamientos fertilizados y N0. La producción de N-nitratos aumentó con la dosis y fue deprimida por el agregado de DMPP. Para la dosis máxima, la diferencia en la disponibilidad de N-nitratos con o sin DMPP fue estadísticamente significativa (Figura 3). Para la región pampeana, se considera que una concentración de 18 a 20 mg kg⁻¹ de N-nitratos en 0-30 cm es el umbral de suficiencia para el estado V6. La dosis de 100 kg Nha⁻¹ permitió alcanzar esta disponibilidad, pero no saturó la respuesta a la fertilización (Figura 4).

Tabla 3: Parámetros de cultivo determinados en el ensayo durante su ciclo. En negrita se señalan los mejores tratamientos para cada variable evaluada. Dosis crecientes de N utilizando fuentes líquidas en combinación con el inhibidor de la nitrificación DMPP. Pergamino, campaña 2008/09.

Trat.	Denominación	Índice de Vigor V4	Índice de Vigor Vt	Hojas verdes activas R2	Hojas verdes totales R2
T1	Testigo	3,8	2,5	9	18
T2	N 100 kg ha ⁻¹	3,8	4,2	13	21
T3	N 100 kg ha ⁻¹ + DMPP	3,7	4,2	13	21
T4	N 150 kg ha ⁻¹	4,0	4,5	14	21
T5	N 150 kg ha ⁻¹ + DMPP	3,8	4,2	14	21
T6	N 200 kg ha ⁻¹	4,2	4,8	13	21
T7	N 200 kg ha ⁻¹ + DMPP	4,3	4,8	14	21
Trat.	Denominación	Altura final planta (m)	Altura inserción espiga (cm)	Unidades Spad R2	
T1	Testigo	200	110	41,8	
T2	N 100 kg ha ⁻¹	243	120	44,8	

T3	N 100 kg ha ⁻¹ + DMPP	250	120	43,4
T4	N 150 kg ha ⁻¹	261	134	47,0
T5	N 150 kg ha ⁻¹ + DMPP	250	135	46,3
T6	N 200 kg ha ⁻¹	257	133	49,1
T7	N 200 kg ha ⁻¹ + DMPP	263	135	46,9

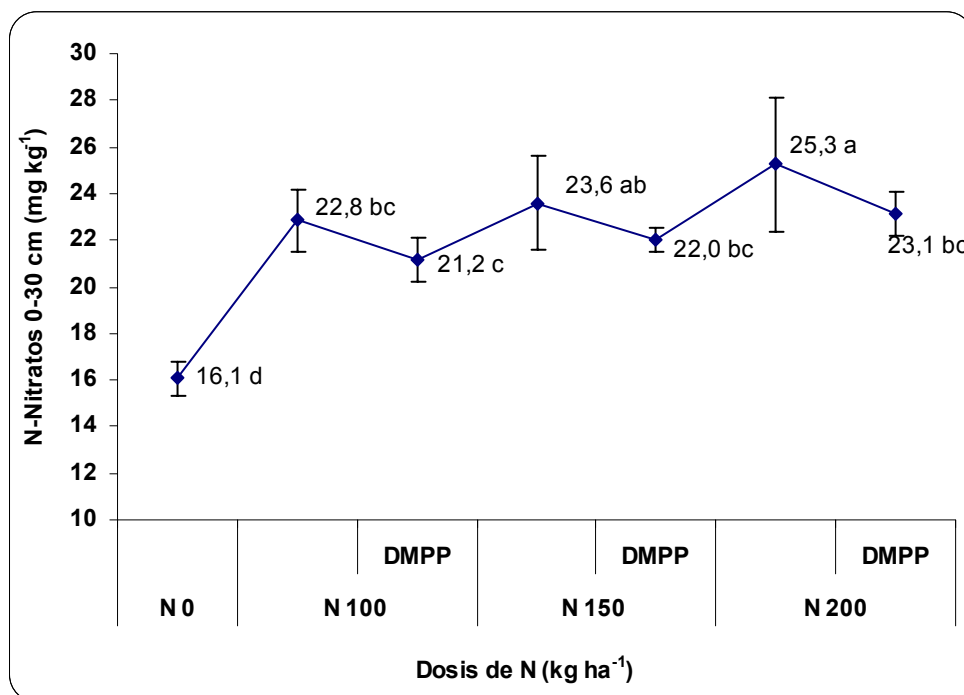


Figura 3: Concentración de N-nitratos (mg kg⁻¹) en el estado de seis hojas verdaderas (V6), por la aplicación de dosis crecientes de nitrógeno en maíz, con o sin agregado del inhibidor de la nitrificación DMPP. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Las barras verticales representan la desviación Standard de la media. Pergamino, Campaña 2008/09.

Los rendimientos del ensayo fueron aceptables, especialmente si se tiene en cuenta la magnitud de la sequía de esta campaña (Figura 4). Se determinaron diferencias estadísticamente significativas en los rendimientos, NG ($P < 0,05$) y P1000 ($P < 0,10$) (Tabla 4). La respuesta a dosis se verificó hasta N 150, siendo el incremento más importante a la primera dosis (N100 vs N0) (Tabla 6 y Figura 5). No se observó efecto del tratamiento con DMPP sobre los rendimientos. Esto refleja claramente las características climáticas de la campaña. Las precipitaciones entre la aplicación de N, el día posterior a la siembra (9-oct) y V6 (20-nov) fueron de 82,7 mm, siendo la lluvia más intensa de 36 mm. Dada la reserva inicial, aún después de estas lluvias el perfil se mantuvo lejos de alcanzar el nivel de capacidad de campo, inclusive en la capa superficial del suelo. Esta condición hídrica hace muy improbable la ocurrencia del proceso de lixiviación de nitratos, especialmente en suelos franco-limosos con un horizonte fuertemente textural, como el del sitio experimental. En la campaña 2006/07, con precipitaciones entre siembra y V6 en un rango de 106 a 293 mm, la fertilización con N fue más eficiente en V6 sólo en una de tres localidades (Ferraris et al., 2007), evidenciando la capacidad de los suelos de la región para retener N y evitar pérdidas por lixiviación de N-nitratos. Por otra parte, la demora en la producción de N-nitratos causada por el DMPP no afectaría los rendimientos, ya que en aplicaciones de siembra su disponibilidad en V6 se asemeja a los tratamientos que no recibieron el inhibidor.

Tabla 4: Rendimiento de grano (kg ha⁻¹), diferencia por sobre el Testigo (kg ha⁻¹ y relativa), número de granos (NG m⁻²) y peso de mil granos (g). Dosis crecientes de N utilizando fuentes líquidas en combinación con el inhibidor de la nitrificación DMPP. Pergamino, campaña 2008/09.

Trat	Tratamiento	Rendimientos (kg ha ⁻¹)	Diferencia con testigo		NG m ⁻²	P1000 (g)
			(kg ha ⁻¹)	Rend Rtvo		

T1	Testigo	7487			2686	279
T2	N 100 kg ha ⁻¹	8447	960	12,8	2886	293
T3	N 100 kg ha ⁻¹ + DMPP	8313	826	11,0	2984	280
T4	N 150 kg ha ⁻¹	9273	1786	23,9	2969	312
T5	N 150 kg ha ⁻¹ + DMPP	8847	1360	18,2	3074	288
T6	N 200 kg ha ⁻¹	8880	1393	18,6	2942	302
T7	N 200 kg ha ⁻¹ + DMPP	9060	1573	21,0	3193	286
	Sign est. (P)	0,000			0,39	0,01
	CV (%)	5,2			8,5	3,5

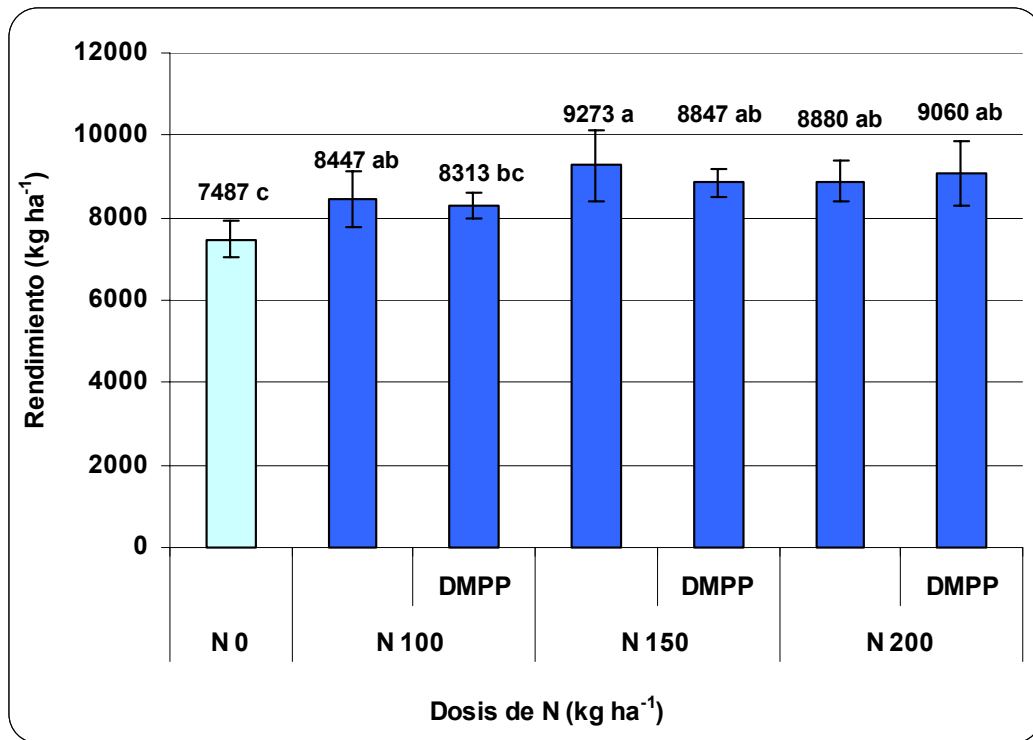


Figura 4: Rendimientos de maíz (kg ha⁻¹) por la aplicación de dosis crecientes de N al suelo utilizando fuentes líquidas puras o en combinación con el inhibidor de la nitrificación DMPP. Letras distintas en las columnas indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Las barras verticales representan la desviación Standard de la media. Pergamino, Campaña 2008/09.

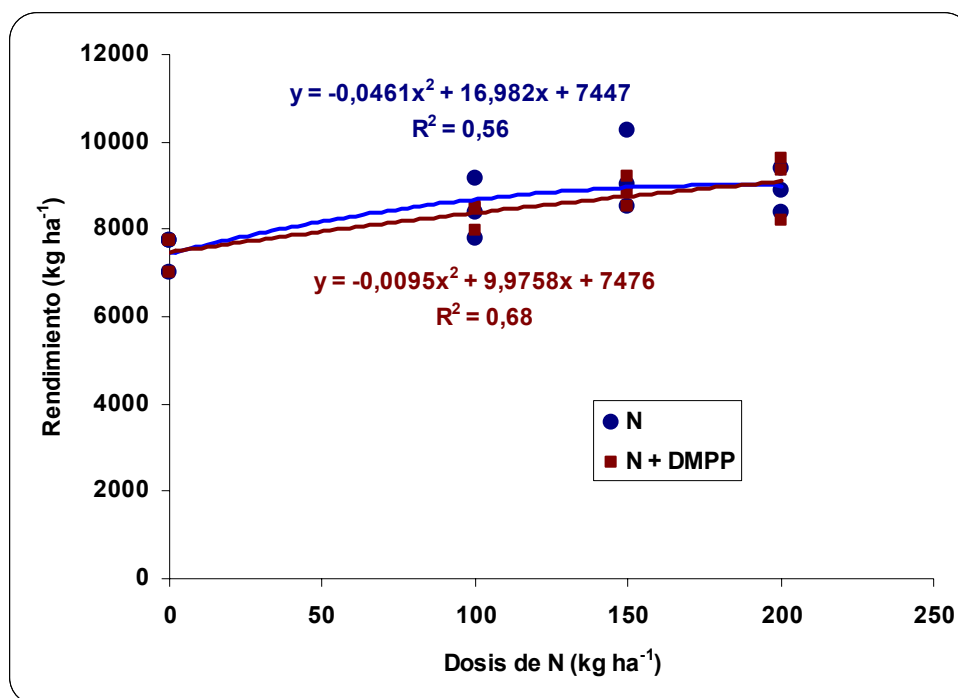


Figura 5: Relación entre el rendimiento de grano de maíz y la dosis de nitrógeno, o nitrógeno en combinación con DMPP aplicados a la siembra de maíz.

La altura de inserción de la espiga, altura de la planta, número de hojas verdes en R2, vigor en Vt, las lecturas Spad, NG y P1000 se asociaron de manera positiva y significativa a los rendimientos (Tabla 5).

Tabla 5: Asociación estadística entre el rendimiento y las variables evaluadas en el ensayo. n.s. indica ausencia de asociación significativa

Tratamientos	Coefficiente de correlación (R)	Sign. est. P=
Vigor V4	0,59	P> 0,10 n.s.
Vigor Vt	0,90	P= 0,005
Hojas verdes R2	0,92	P= 0,003
Hojas totales R2	0,83	P= 0,020
Altura	0,93	P= 0,001
Inserción	0,95	P= 0,001
Spad	0,87	P= 0,010
NG	0,78	P= 0,035
P1000	0,70	P= 0,07

Conclusiones

- El cultivo de maíz respondió significativamente al agregado de N incrementando sus rendimientos.
- La respuesta sobre el testigo alcanzó un rango de 826 a 1786 kg ha⁻¹, representando una diferencia de entre 11 y 23,9 %. La máxima respuesta y el plateau de rendimiento se alcanzó con la dosis de 150 kgNha⁻¹, y fue similar con o sin el agregado conjunto de DMPP.
- Las condiciones ambientales no fueron predisponentes para la ocurrencia de pérdidas de nitratos por lixiviación o desnitrificación. Por este motivo, la eficacia del DMPP para contrarrestar estos procesos no pudo ser evaluada.
- La utilización de DMPP disminuyó levemente la disponibilidad de N-nitratos en V6, pero este retraso en la nitrificación no afectó los rendimientos. Desde este punto de vista, su utilización extensiva sería factible como acompañante de fuentes nitrogenadas, en

aplicaciones tempranas y bajo condiciones predisponentes a procesos de pérdida especialmente por lixiviación.

Bibliografía:

-Ferraris, G. y L. Couretot. 2007. Evaluación de diferentes dosis y momentos de aplicación de nitrógeno y su interacción con fuentes líquidas utilizando fuentes líquidas en el norte de la provincia de Buenos Aires. Campaña 2006/07. En: Experiencias en Fertilización y Protección del cultivo de Maíz. Año 2007. Proyecto Regional Agrícola, CERBAN, EEA Pergamino y General Villegas: 136-146.

-Trenkel, M.E. 1997. Improving Fertilizer Use Efficiency. Controlled-Release and Stabilized Fertilizers in Agriculture.151 p

Anexo: *Fotografías de los tratamientos ensayados, previo a la floración del cultivo. Estado Vt. Pergamino, diciembre de 2008*



T1: Testigo



T2: N100



T3: N100 + DMPP



T4: N150



T5: N150 + DMPP



T6 : N 200



T7: N 200 + DMPP



Comparación: Testigo (izquierda) vs Fertilizado (derecha)