

EFFECTO SOBRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ DEL INHIBIDOR NBPT COMO ACOMPAÑANTE DE UREA EN FERTILIZACIONES AL VOLEO BAJO TRES ESCENARIOS PRODUCTIVOS

* Ings. Agrs. Gustavo N. Ferraris y Lucrecia A. Couretot
nferraris@pergamino.inta.gov.ar

Introducción

La pérdida de Nitrógeno (N) por volatilización del gas amoníaco (NH_3) puede ser la principal causa de la baja eficiencia de algunos fertilizantes amoniacales. Dichas pérdidas son el resultado de numerosos procesos químicos, físicos y biológicos, cuya magnitud es afectada por factores de ambiente, suelo y manejo tales como temperatura, pH del suelo, capacidad de intercambio catiónico (CIC), materia orgánica, cobertura y calidad de residuos en superficie, viento, tensión de vapor superficial y la dosis y localización del fertilizante.

En la región pampeana argentina, los cultivos de gramíneas son habitualmente fertilizados con fuentes nitrogenadas sólidas y líquidas. Existen datos locales sobre las pérdidas por volatilización que pueden sufrir dichas fuentes, pero se trata de casos puntuales por lo que la dimensión geográfica y temporal de estas evaluaciones requiere ser ampliada. De igual modo, en los últimos años se han introducido moléculas inhibidoras del proceso que actúan especialmente a nivel de la enzima ureasa, catalizadora del proceso. La eficacia de estos inhibidores está siendo evaluada localmente, midiéndose valores máximos de pérdida en el norte de Buenos Aires de hasta un 15,9 % del fertilizante aplicado (Ferraris et al., 2009) (Figura 1).

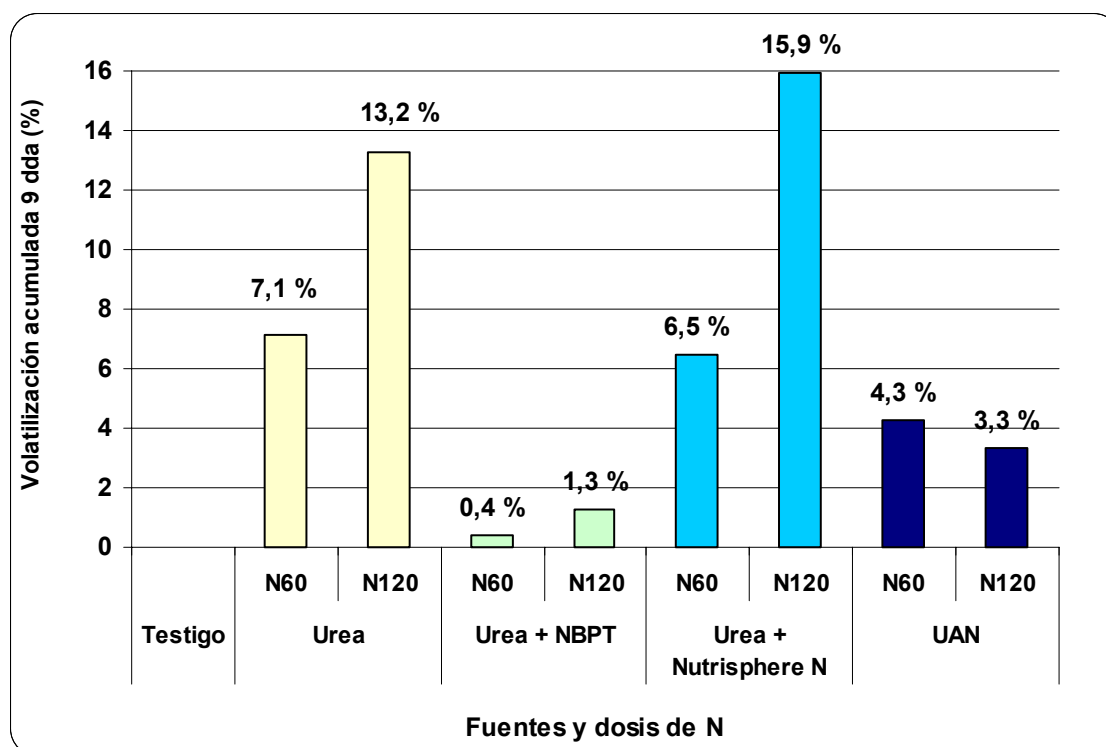


Figura 1: Incremento relativo en las pérdidas de N en forma de NH_3 , con relación al testigo no fertilizado, al noveno día desde la aplicación de los fertilizantes para la localidad de Pergamino, en el año seco 2008/09. Fuentes, dosis y uso de inhibidores de la volatilización de nitrógeno en Maíz.

El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto del inhibidor de la enzima ureasa NBPT sobre el rendimiento y la eficiencia agronómica de uso del N (EUN) aplicado en maíz, en tres escenarios productivos diferentes. Hipotetizamos que el inhibidor NBPT bajo condiciones predisponentes reduce las pérdidas gaseosas de N en forma NH₃, en una magnitud tal que afecta los rendimientos y la EUN por parte del cultivo.

Materiales y métodos

Se condujeron tres ensayos de campo en el norte de Buenos Aires, bajo tres situaciones agronómicas contrastantes: 1. maíz en siembra normal, 2. siembra tardía y 3. de segunda sobre antecesor trigo. Las características más destacadas de estas tres situaciones se presentan en la Tabla 1:

Tabla 1: Características salientes de los sitios experimentales. Ensayo de fuentes nitrogenadas en maíz.

	1. Maíz de Primera	2. Maíz de Primera tardío	3. Maíz de Segunda
Sitio y partido	Campo Experimental EEA Pergamino	Sarasa Colón	Pergamino Pergamino
Serie de Suelo	Pergamino	Rojas	Pergamino
Tipo de Suelo	Argiudol típico	Argiudol típico	Argiudol típico
Fecha de siembra	24-Setiembre	23- Noviembre	23-Diciembre
Antecesor	Trigo/Soja	Trigo/Soja	Trigo
Cultivar	Nidera Ax 878 MG	Nidera Ax 878 MG	Dekalb DK 747 MGRR
Cobertura	50 %	70 %	90 %
Humedad inicial a la siembra (2m)	Normal: 45 % AU 140 mm	Bueno: 55 % AU 170 mm	Húmedo: 95 % AU 300 mm
Dosis P (kg ha⁻¹)	23 siembra	23 siembra	23 siembra
Dosis S (kg ha⁻¹)	18 siembra	18 siembra	18 siembra

Cuando correspondió al tratamiento, La urea (46-0-0) fue tratada previo a su aplicación con NBPT - *n* (*n*-butyl) *t*iamida *t*iofosfórica, el cual actúa bloqueando la enzima ureasa por el término de diez días aproximadamente (Trenkel, 1997; Watson, 2000). El diseño del ensayo correspondió a bloques completos al azar con tres o cuatro repeticiones. Los tratamientos evaluados se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2: Tratamientos evaluados. Aplicación de nitrógeno y uso de inhibidores en Maíz. Campaña 2009/10.

N°	Tratamiento	Dosis de N (kg Nha ⁻¹)
T1	Testigo	
T2	Urea granulada (Urea)	60
T3	Urea granulada (Urea) + NBPT	60
T4	Urea granulada (Urea)	120
T5	Urea granulada (Urea) + NBPT	120

Los análisis de suelo de los sitios experimentales se presentan en la Tabla 3. Estos reflejan claramente la situación de cultivo, donde el menor valor de N-Nitratos expresado en kg (0-60 cm) corresponde al cultivo de segunda, sin barbecho (30,7 kg 0-60 cm), seguido por el cultivo de primera temprano (46,2). La mayor disponibilidad correspondió a la siembra de primera tardía (117 kg), gracias a los 2 meses de barbecho adicionales en el cual el suelo acumuló agua y nutrientes.

Tabla 3: Análisis de suelo al momento de la siembra

Sitio	MO	CE	pH	Ntotal	P Bray	N-Nitratos	S-SO4
	(%)	CE dS m ⁻¹			ppm	kg/ha 0-60 cm	Ppm
1. Pergamino	2,98	0,360	5,6	0,149	18,3	46,2	3,0
2. Colón	3,83	0,384	5,8	0,195	22,2	117	9,9
3. Pergamino	2,79	0,073	5,4	0,140	33,0	30,7	2,0



Fotografía 1: Medición de emisiones de N en forma de NH_3 . INTA EEA Pergamino, Noviembre de 2008. Las pérdidas registradas corresponden a las presentadas en la Figura 1.

En floración plena (estado R2), se evaluó la intensidad de verdor mediante Spad, la altura de plantas e inserción de la espiga principal, el número de hojas verdes y senescentes, la cobertura del cultivo y se calificó su vigor. La cosecha se realizó en forma manual, con trilla estacionaria de las muestras. Sobre una muestra de cosecha se midieron los componentes del rendimiento, número (NG) y peso (PG) de los granos. Para el estudio de los resultados se realizaron análisis de la varianza y comparaciones de medias.

Condiciones ambientales de la campaña

En la Figura 2 se presentan las precipitaciones, evapotranspiración y balance hídrico para cada uno de los cultivos. Las precipitaciones fueron frecuentes durante todo el ciclo bajo las tres situaciones, conformando un ambiente poco propicio a la ocurrencia de pérdidas por volatilización. No se registró déficit hídrico en ninguna localidad. Es probable alguna pérdida por lixiviación de N-Nitratos, especialmente en Colón, donde el suelo presenta textura más gruesa y el nivel inicial de N más alto.

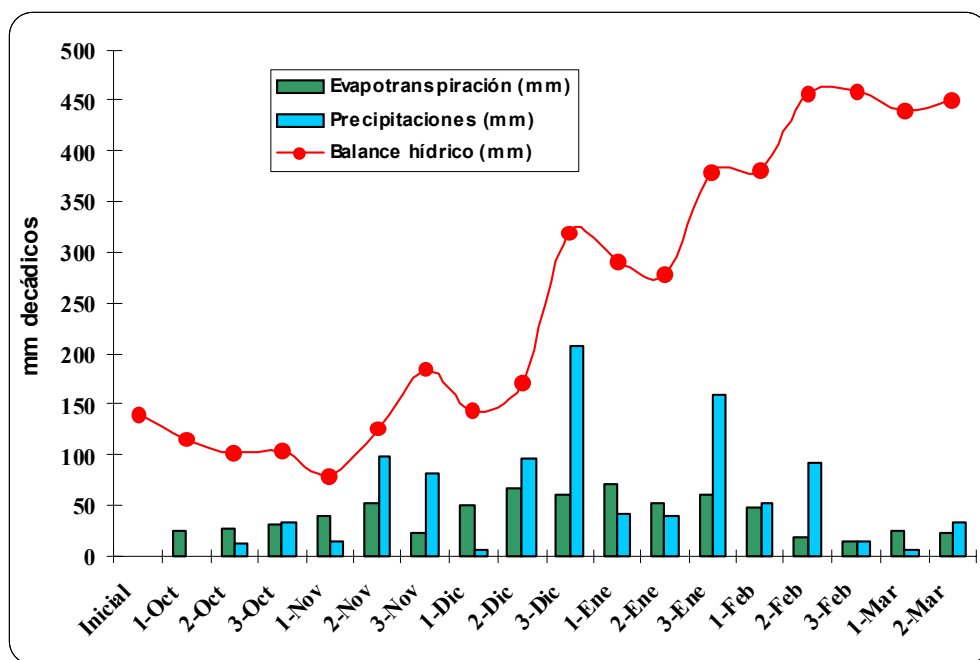


Fig 2.a

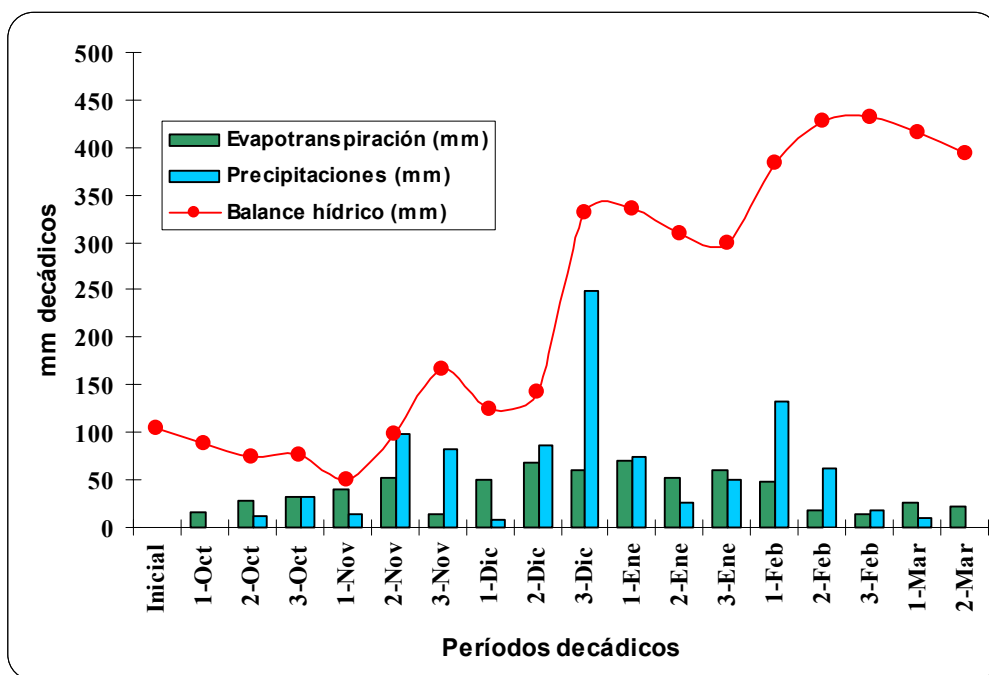


Fig 2.b

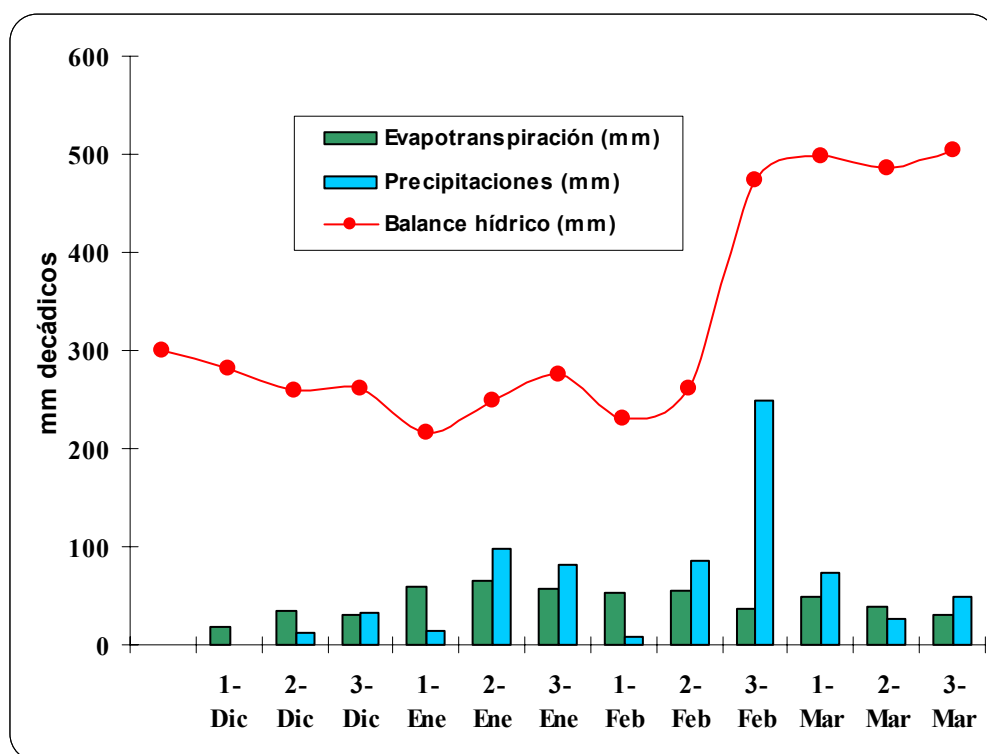


Fig 2.c

Figura 2: Balance hídrico, evapotranspiración y precipitaciones decádicas acumuladas (mm) en los sitios experimentales. 2.a) Maíz de primera siembra temprana. Pergamino. 2.b) Maíz de primera siembra tardía. Colón. 2.c) Maíz de segunda. Pergamino.

Resultados y discusión:

En la Tabla 4 se visualizan la fecha de aplicación y las precipitaciones ocurridas luego de la misma, en los diez días sucesivos. La frecuencia de las precipitaciones hizo que en ningún caso pasaran más de 4 días desde la aplicación sin que el cultivo recibiera alguna lluvia.

Tabla 4: Precipitaciones y temperaturas medias diarias en los diez días posteriores a aplicación del fertilizante nitrogenado en los sitios experimentales. Para cada localidad se indica la fecha de fertilización. Evaluación de inhibidores de la volatilización de nitrógeno en Maíz. Campaña 2009/10.

	Días desde la aplicación de los fertilizantes									
Ppciones diarias	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10
1. Pergamino 26-Noviembre	7,0	41,0	1,0	10,5		2,5			3,8	1,0
2. Colón 31-Diciembre				42,0						
3. Pergamino 31-Diciembre				32,5		37,5	0			4,0
T medias diarias °C										
1. Pergamino 26-Noviembre	16,2	20,7	18,5	19,1	21,3	23,0	17,1	16,2	15,4	17,3
2. Colón 31-Diciembre	23,0	24,3	24,0	25,9	26,1	19,5	19,3	21,7	21,9	26,7
3. Pergamino 31-Diciembre	23,0	24,3	24,0	25,9	26,1	19,5	19,3	21,7	21,9	26,7

Los tratamientos se manifestaron claramente en parámetros simples de cultivo (Tabla 5), especialmente lecturas Spad, vigor y cobertura de planta. El contraste más fuerte fue entre fertilizado

y testigo siendo sutiles las diferencias entre los fertilizados. Por otra parte, la fertilización nitrogenada afectó ambos componentes del rendimiento, NG y PG (Tabla 5) .

Tabla 5: Número de hojas verdes, Índice verde (Unidades Spad), vigor de planta, cobertura en floración y componentes de rendimiento, número (NG) y peso (PG) de los granos. Evaluación del inhibidor de la volatilización de nitrógeno NBPT en Maíz. Campaña 2009/10.

Nº	Tratamiento	Número hojas verdes R2	Lecturas Spad	Indice de vigor R2	Cobertura R2	NG	PG x 1000
1. Pergamino							
T1	Testigo	12,3	47,5	3,9	88,6	4083	295,1
T2	Urea 60	13,0	54,3	4,5	84,0	4612	315,1
T3	Urea 60 + NBPT	12,0	56,9	4,6	90,7	4865	316,2
T4	Urea 120	12,8	58,9	4,3	94,3	4658	322,7
T5	Urea 120 + NBPT	12,5	57,9	4,6	93,9	4473	352,5
2. Colón							
T1	Testigo	12,0	47,9	3,5		4073	276,8
T2	Urea 60	14,0	54,8	4,2		4167	314,4
T3	Urea 60 + NBPT	14,0	56,0	4,2		4004	322,8
T4	Urea 120	14,5	57,3	4,5		3993	335,0
T5	Urea 120 + NBPT	14,0	56,8	4,5		4188	352,8
3. Pergamino							
T1	Testigo	8,0	55,3	4,3		1491	325,5
T2	Urea 60	11,5	56,7	4,5		3359	382,6
T3	Urea 60 + NBPT	12,0	57,9	4,5		3353	365,1
T4	Urea 120	12,0	59,1	4,8		3426	383,0
T5	Urea 120 + NBPT	11,8	57,0	4,4		3099	385,0

Se determinaron diferencias estadísticamente significativas en los rendimientos en las tres localidades (Pergamino 1 $P < 0,10$, $cv = 5,8\%$; Colón 2 $P < 0,05$, $cv = 3,3\%$; Pergamino 3 $P < 0,01$, $cv = 12\%$). Como tendencia central, los tratamientos fertilizados superaron al testigo (Figura 3), sin diferencias entre tratamientos de igual dosis de N a excepción de Pergamino1 a la dosis de N60, donde el rendimiento fue superior cuando se usó Urea + NBPT (Figura 3.a). Como es lógico suponer, la respuesta a N fue máxima en maíz de segunda, a causa de su menor disponibilidad inicial por el consumo del trigo antecesor (Figura 3.c).

Para comparar los ensayos, se calculó el rendimiento relativo al máximo, tomando como tal para cada ensayo su producción media en los tratamientos de N120 (T4, T5), de acuerdo con la siguiente fórmula $RR = [\text{Rendimiento Tn} / (\text{Rendimiento } 0,5 \cdot T4 + \text{Rendimiento } 0,5 \cdot T5)] \cdot 100$. Como media de todos los experimentos, el Uso de NBPT permitió incrementar los RR en un 2% a la dosis de N60 y 4 % para N120 (Tabla 6). La EUN media disminuyó al aumentar la dosis de N60 a N120, y se obtuvieron 6.5 y 4,9 kg grano: kg N⁻¹ adicionales por el uso de NBPT, para la dosis de N60 y N120, respectivamente. Cabe especular si la demora en la transformación química de la urea al bloquear la enzima catalizadora del proceso, pudo atenuar levemente la lixiviación de N-nitratos, al retrasar y hacer más pausado el aumento en su concentración.

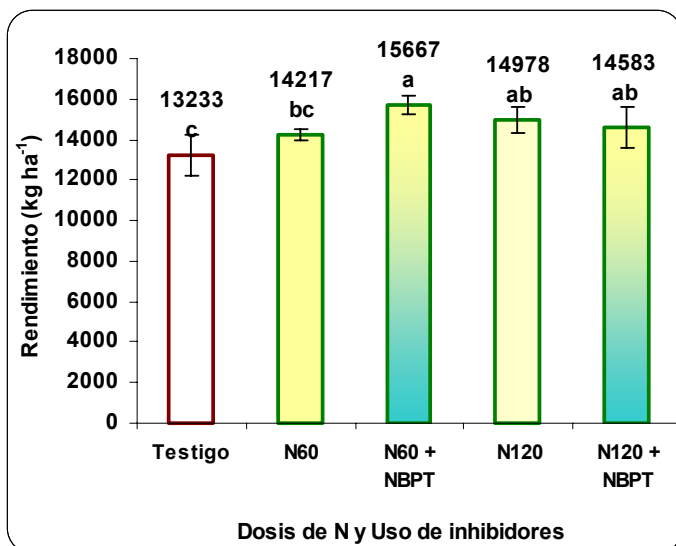


Fig 3.a Pergamino.1

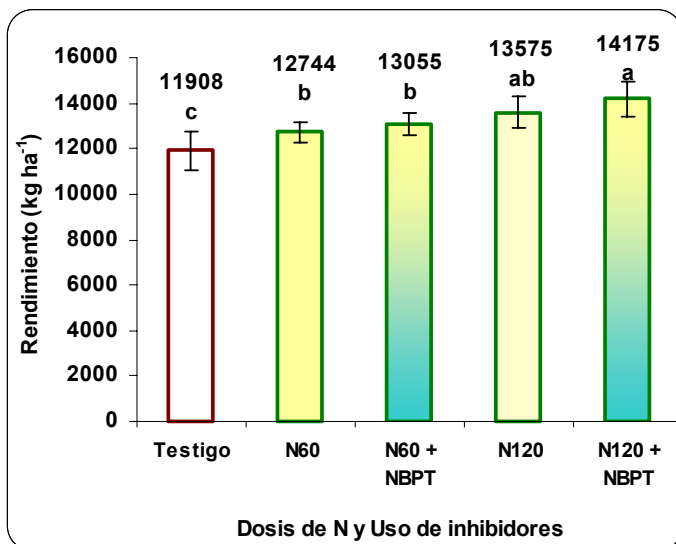


Fig 3.b Colón 2

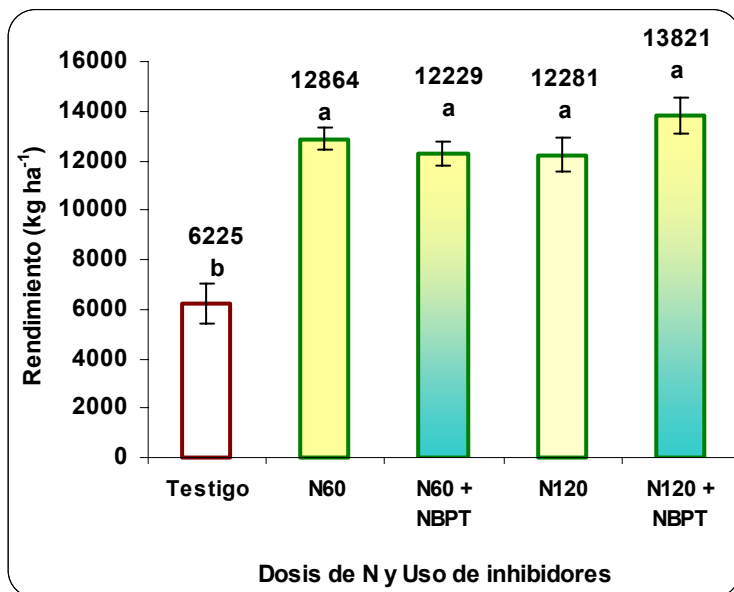


Fig 3.c Pergamino 3

Figura 3: Producción de grano (kg ha⁻¹) de diferentes dosis y tratamientos con inhibidores de la volatilización de N en maíz en a) maíz de primera b) maíz de primera tardío y c) maíz de segunda. Letras distintas en las columnas representan diferencias significativas entre tratamientos (LSD =0,05). Las barras verticales indican la desviación Standard de la media. Campaña 2009/10.

Tabla 6: Rendimiento de grano, rendimiento relativo (RR) a la dosis máxima de N (N120) y eficiencia agronómica de uso de N (EUN= kg grano/kg N fertilizante) de diferentes tratamientos de fertilización en tres situaciones productivas diferentes. Evaluación de inhibidores de la volatilización de nitrógeno en Maíz. Campaña 2009/10.

Nº	Tratamiento	1. Pergamino Rendimiento	RR	2. Colón Rendimiento	RR	3. Pergamino Rendimiento	RR	RR Medio
T1	Testigo	13233	90	11908	86	6225	48	74
T2	Urea 60	14217	96	12744	92	12864	99	96
T3	Urea 60 + NBPT	15667	106	13055	94	12281	94	98
T4	Urea 120	14978	101	13575	98	12229	94	98
T5	Urea 120 + NBPT	14583	99	14175	102	13821	106	102

Nº	Tratamiento	1. Pergamino EUN	2. Colón EUN	3. Pergamino EUN	EUN media
T1	Testigo				
T2	Urea 60	16,4	13,9	110,7	47,0
T3	Urea 60 + NBPT	40,6	19,1	100,9	53,5
T4	Urea 120	14,5	13,9	50,0	26,2
T5	Urea 120 + NBPT	11,3	18,9	63,3	31,1

Los rendimientos relativos se incrementaron hasta alcanzar un máximo en la disponibilidad total de N160 (Suelo 0-60 cm + fertilizante) (Figura 4.a), los cuales coinciden perfectamente con los umbrales propuestos para la zona (Ferraris, 2008). La respuesta teórica máxima sería de un 57 % para la región y se espera un incremento de rendimiento de 0,32 % por cada kg N agregado, debajo de 180 (Figura 4.b). Todos los puntos forman parte de la misma función, con o sin uso de NBPT. Esto significa también que la función de respuesta no cambia en maíz tardío o de segunda, sino que sólo lo hace la disponibilidad inicial.

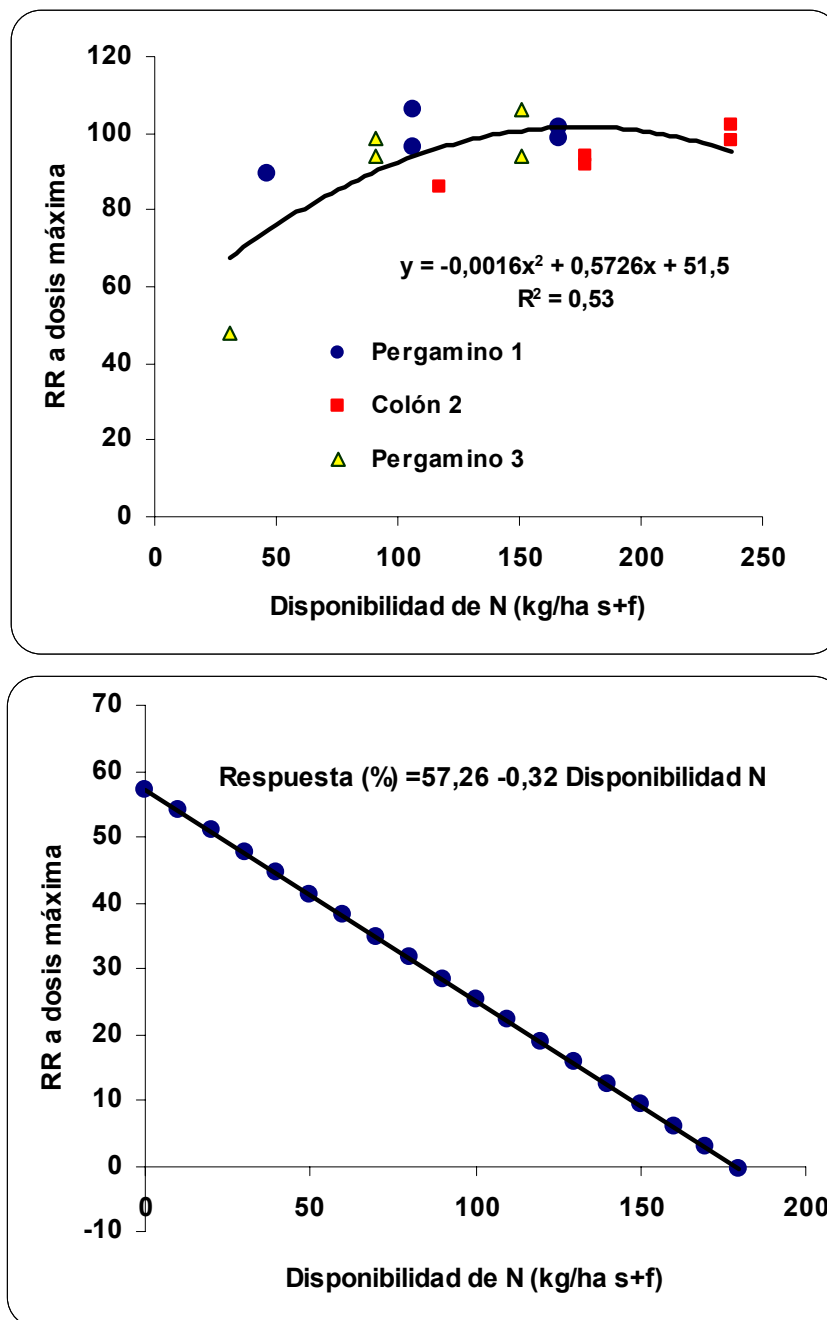


Figura 4: Relación entre a) el Rendimiento relativo al máximo y la disponibilidad de N (suelo + fertilizante) y b) Respuesta esperable en función de la disponibilidad inicial de N. El ajuste integra los datos de los tres sitios.

Conclusiones:

*Las lluvias de la campaña fueron frecuentes y abundantes, creando condiciones poco propicias para el proceso de volatilización.

*Bajo estas condiciones, el uso de NBPT incrementó los rendimientos entre un 2 y 4 % así como la EUN en 6,5 a 4,9 kg grano kg N⁻¹, para la dosis de N60 y N120, respectivamente.

*Los tres ensayos pudieron integrarse en un ajuste único que permitió alcanzar el rendimiento máximo en una disponibilidad de N160 (Suelo 0-60 cm + fertilizante), una respuesta potencial de 57% y EUN de 0,32% de incremento por cada kg de N agregado.

Literatura citada

- G. Ferraris. 2008. Prácticas de manejo para mejorar la eficiencia de uso de los nutrientes en Maíz. Jornada "Agrofutura 2008" INTA General Villegas. Pehuajó, 4 de Septiembre
- Ferraris, G., L. Couretot y M. Toribio. 2009. Pérdidas de nitrógeno por volatilización y su implicancia en el rendimiento del cultivo de maíz en Pergamino (Bs As). Efectos de fuente, dosis y uso de inhibidores. Informaciones Agronómicas del Cono Sur. IPNI. N 41.