

PÉRDIDAS DE NITRÓGENO POR VOLATILIZACIÓN Y SU IMPLICANCIA EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ. EFECTO DE LA FUENTE, DOSIS Y USO DE INHIBIDORES.

PROYECTO REGIONAL AGRÍCOLA, CERBAN.

Ings. Agrs. Gustavo N. Ferraris y Lucrecia A. Couretot

Área de Desarrollo Rural INTA EEA Pergamino. Av Frondizi km 4,5 B2700WAA Pergamino
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 inhibitoras del proceso que actúan especialmente a nivel de la enzima ureasa, catalizadora del proceso. La eficacia de estos inhibidores debe ser evaluada localmente.

El objetivo de este trabajo es comparar fuentes nitrogenadas, inhibidores de la volatilización y dosis de N en cuanto a las pérdidas gaseosas en forma de NH_3 y el rendimiento. Hipotetizamos que las pérdidas de N pueden ser minimizadas a través de una adecuada combinación de fuente, dosis y uso de inhibidores, maximizando así la eficiencia de uso de N (EUN).

Materiales y métodos

El ensayo fue conducido en la localidad de Pergamino, sobre un suelo serie Pergamino, Argiudol típico, Clase de uso 1 de muy buena productividad.

Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones y nueve tratamientos, los cuales se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: *Tratamientos evaluados. Comparación de fuentes, dosis y uso de inhibidores de la volatilización de N en Maíz. Pergamino. Campaña 2008/09.*

Nº	Tratamiento	Dosis de N (kg Nha ⁻¹)
T1	Testigo	
T2	Urea granulada (Urea)	60
T3	Urea granulada (Urea)	120
T4	Urea granulada (Urea) + NBPT	60
T5	Urea granulada (Urea) + NBPT	120
T6	Urea granulada (Urea) + Nutrisphere	60
T7	Urea granulada (Urea) + Nutrisphere	120
T8	Solución de Urea-Nitrato de amonio (UAN)	60
T9	Solución de Urea-Nitrato de amonio (UAN)	120

El ensayo se sembró el día 10 de Octubre de 2008 en SD, con antecesor trigo/soja, utilizando el híbrido Syngenta NK 910. Todas las parcelas fueron fertilizadas a la siembra con fósforo (P) y azufre (S), a la dosis de 20 kg Pha⁻¹ y 18 kg Sha⁻¹. Las fuentes utilizadas fueron superfosfato triple de calcio (0-20-0) y sulfato de calcio (0-0-0-S18). 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) y Nutrisphere-N, molécula que forma una cubierta que estabiliza el N en el suelo impidiendo la hidrólisis de la fuente tratada (Osmond et al., 2008).

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.

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 ppm	Mg	Ca
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					

Para determinar el N-NH₃ volatilizado, se utilizó el método de sistema de absorción semiabierto estático, adaptado del propuesto por Nommik (1973) y utilizado por Videla (1994). El mismo consiste en atrapar el N-NH₃ por medio de un cilindro de polietileno de 30 cm de diámetro por 50 cm de altura, con dos planchas de poliuretano de 1,5 cm de espesor en su parte superior. Estas fueron embebidas con H₂SO₄ 1 N y separadas unos 10 cm entre sí. El NH₃ es atrapado por la plancha inferior, mientras que la superior evita que se contamine con NH₃ proveniente de otros lugares. Las planchas se cambiaron cada 24 hs y fueron lavadas con 1,5 l de agua desmineralizada. Una alícuota de 25 ml se alcalinizó con 5 ml de NaOH al 40 % y el NH₃ producido se recogió por microdestilación (Keeney, Nelson 1982) en ácido bórico al 2% hasta completar un volumen de 35 ml. El mismo se tituló con H₂SO₄ 0,005 N para determinar la cantidad de N-NH₃ desprendida. Se colocó una trampa por parcela. Las trampas se fijaron al suelo (5-6 cm) para evitar escapes de NH₃ hacia la atmósfera (Fotografía 1). A causa de la ausencia de precipitaciones que interrumpieran el proceso, las determinaciones de N-NH₃ volatilizado se realizaron durante nueve días consecutivos desde la aplicación del fertilizante.



Fotografía 1: *Medición de emisiones de N en forma de NH₃. INTA EEA Pergamino, Noviembre de 2008*

En floración plena (estado R2), se evaluó la intensidad de verdor mediante Spad, la altura de plantas e inserción de la espiga principal, y el número de hojas verdes y senescentes. 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 (P1000) 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 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 fotothermal (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 ciclo. 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).

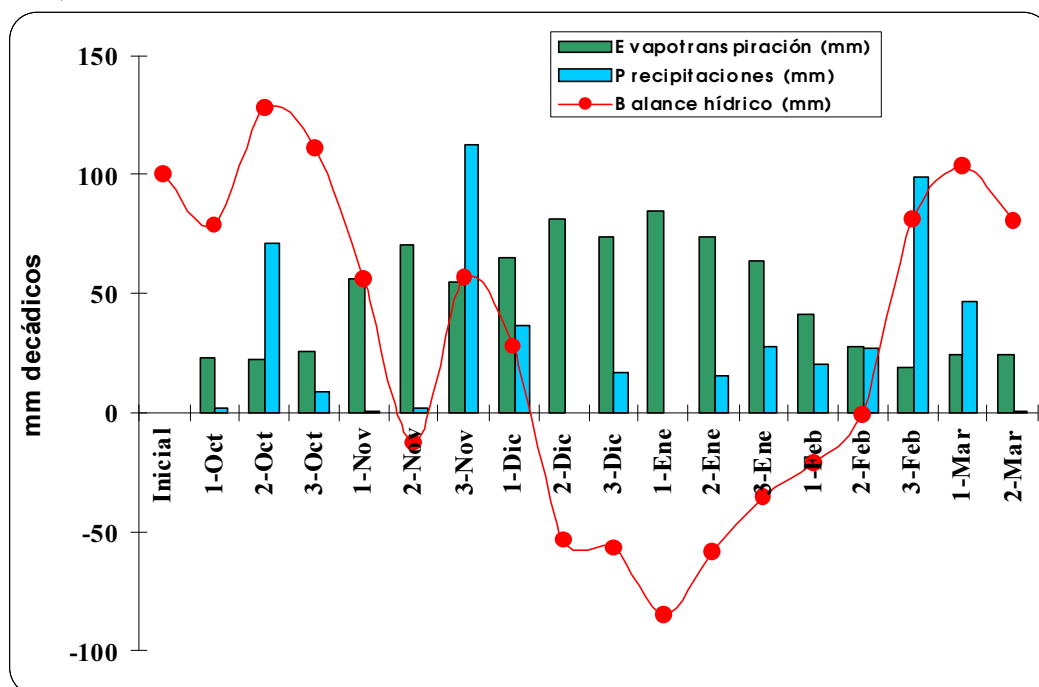


Figura 1: Precipitaciones decádicas acumuladas (mm) en el sitio experimental. Pergamino, campaña 2008/09. Déficit (evapotranspiración potencial – evapotranspiración real) 323 mm.

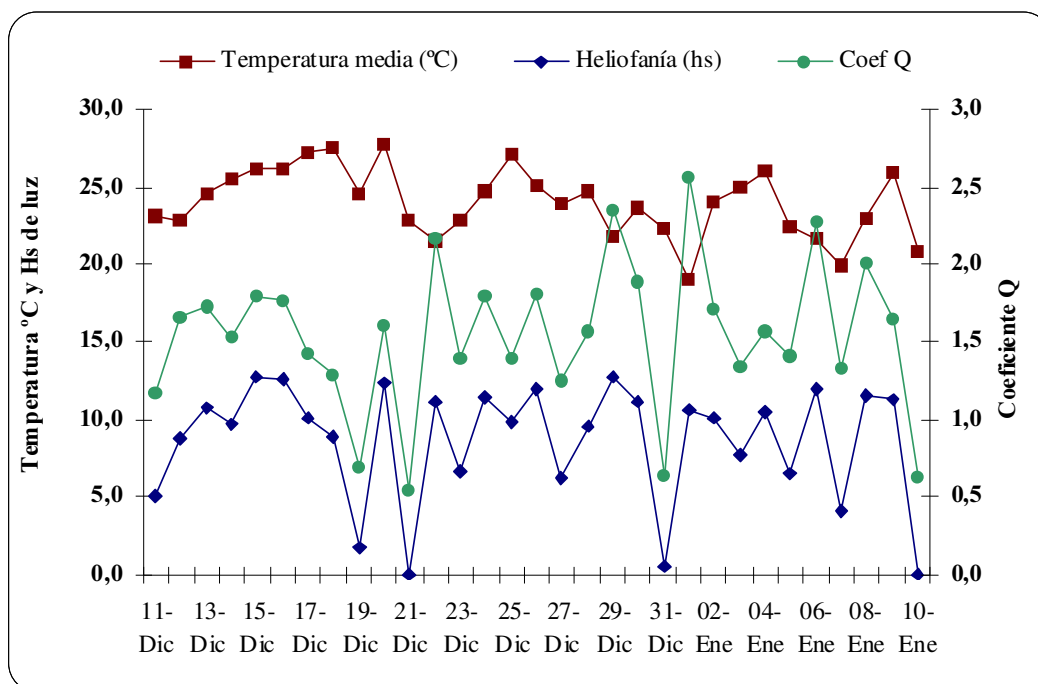


Figura 2: Insolación (en hs y décimas de hora) y temperatura media (°C) diarias para el período 10 de Diciembre – 10 de Enero, en el transcurso del cual se ubicó la etapa crítica para la definición de los rendimientos en todos los materiales. Localidad de Pergamino, (Bs As), campaña 2008/09.

Resultados y discusión:

En la Tabla 3 se visualizan las condiciones ambientales en los días posteriores a la aplicación de los fertilizantes, momento en que se cuantificaron las pérdidas gaseosas de N en forma de NH₃. Se caracterizaron por las elevadas temperaturas, alta insolación, viento predominante del sector norte y baja humedad relativa. Además, la cobertura del sitio era del 75 % (método de la recta transecta), de residuos de trigo y soja-principalmente, aunque de escaso espesor, no más de 2 cm. Estos factores configuraron un ambiente favorable a la ocurrencia del proceso de volatilización, por lo que las emisiones medidas podrían considerarse muy cercanas al máximo probable para la localidad de estudio.

Tabla 3: Registros ambientales diarios (17 al 26 de noviembre) de nueve días posteriores a la aplicación de los fertilizantes. Evaluación de fuentes, dosis y uso de inhibidores de la volatilización de nitrógeno en Maíz. Pergamino, Campaña 2008/09.

	Días desde la aplicación de los fertilizantes									
	Día 0	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9
T Max (C°)	30,2	32,3	33,0	32,0	31,4	33,7	36,0	34,0	38,0	27,2
T Media (C°)	19,5	22,9	24,6	24,7	23,7	25,0	27,5	27,0	27,0	24,0
T mínima (C°)	8,8	13,5	16,2	17,4	16,0	16,2	19,0	20,0	16,0	20,7
Ppciones										2,5
Heliofanía (hs)	13,0	10,7	11,7	11,6	12,7	12,1	12,9	2,1	11,8	3,1
Vel viento (km/h)	8,7	11,2	13,1	12,9	14,5	17,0	11,6	5,2	7,7	6,3
Dirección viento	NNNE	EENE	NNENE	ENENE	EENE	NNENE	EENENE	SSSE	ENENE	EENE
HR (%)	49,5	48,5	51,5	53,5	50,5	52,5	45,5	57,5	58,5	73,0

La emisión de NH₃ fue detectable desde el inicio del ensayo, pero se evidenciaron diferencias entre tratamientos a partir del tercer día (Tabla 4). Nótese que aún el testigo sin fertilización mostró pérdidas cuantificables de N, superiores a las observadas por otros investigadores (Sainz Rosas et al., 1997; Barbieri et al., 2005), aún en localidades ubicadas al norte de Pergamino como Oliveros (Salvagiotti, 2005) o Rafaela (Fontanetto et al., 2001). Esto muestra la singular severidad ambiental bajo la cual se realizaron las mediciones.

Tabla 4: Emisión diaria de nitrógeno (kg N ha⁻¹) en forma de NH₃ durante nueve días desde la aplicación de los fertilizantes. Fuentes, dosis y uso de inhibidores de la volatilización de nitrógeno en Maíz. Pergamino, campaña 2008/09.

	Pérdidas diarias de N en forma de NH ₃ (kg ha ⁻¹)									
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Total
Testigo	0,82	0,23	0,45	0,24	0,27	0,26	0,25	0,25	0,38	3,14
Urea 60	0,72	0,56	0,82	0,52	0,72	0,95	0,99	0,99	1,13	7,40
Urea 120	0,81	0,77	1,34	1,67	1,88	2,54	3,21	3,21	3,60	19,03
Urea 60 + NBPT	0,80	0,26	0,41	0,20	0,25	0,22	0,35	0,35	0,53	3,36
Urea 120 + NBPT	0,83	0,49	0,31	0,21	0,36	0,41	0,61	0,61	0,85	4,67
Urea 60 + Nutrisphere-N	0,82	0,23	0,47	0,62	1,00	1,03	0,99	0,99	0,87	7,02
Urea 120 + Nutrisphere-N	0,78	0,72	1,15	2,04	3,91	3,59	3,76	3,76	2,51	22,24
UAN 60	1,02	0,36	0,57	0,43	0,63	0,54	0,67	0,67	0,83	5,72
UAN 120	0,89	0,61	1,11	0,47	0,64	0,68	0,82	0,82	1,09	7,14

Las fuentes mostraron diferencias en su comportamiento. Las pérdidas fueron superiores en Urea con respecto a UAN (Tabla 4 y Figuras 3). El inhibidor NBPT logró mitigar casi en forma completa las pérdidas, asemejándose al testigo. En cambio, el tratamiento con Nutrisphere-N alcanzó pérdidas ligeramente superiores a la Urea sin tratar. Este inhibidor forma una cubierta que estabiliza el N en el suelo. Su efecto se manifestaría principalmente sobre el proceso de nitrificación, y en menor medida sobre la hidrólisis de la

urea. De este modo, el N habría permanecido durante más tiempo en forma amoniacal, favoreciendo la formación de NH_3 con las consecuentes pérdidas. Su uso sería efectivo bajo condiciones predisponentes a las salidas de N en forma de nitratos, por lixiviación (suelos de textura gruesa que alcanzan la saturación de humedad) o denitrificación (condiciones de anoxia). La reacción además fue favorecida por la concentración de sustrato. Es decir, al incrementar la dosis, las pérdidas porcentuales aumentaron. Esto sucede por la saturación de la capacidad buffer de amonio (NH_4), limitada en este caso por el bajo contenido de materia orgánica del suelo (Tabla 2).

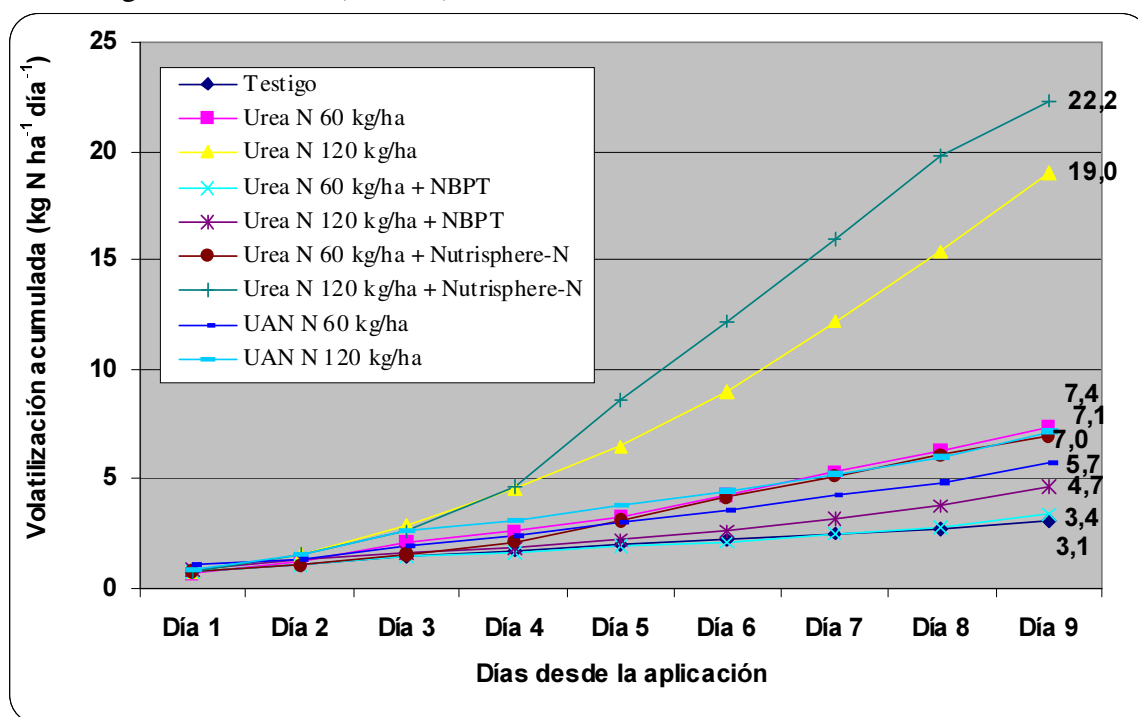


Figura 3: Emisión acumulada de nitrógeno (kg N ha^{-1}) en forma de NH_3 a lo largo del experimento. Fuentes, dosis y uso de inhibidores de la volatilización de nitrógeno en Maíz. Pergamino, campaña 2008/09.

Las pérdidas máximas se alcanzaron para la dosis de N120 agregados como Urea o Urea + Nutrisphere, siendo de 19 y 22,2 kgN ha^{-1} , respectivamente. Para calcular el N perdido desde el fertilizante se debe restar los 3,14 kgN ha^{-1} capturados en el testigo. Así calculadas, las pérdidas de N proveniente de los fertilizantes alcanzarían un rango de 0,4 a 15,9 %, respectivamente (Figura 4)

Barbieri et al, (2005) en Balcarce registraron pérdidas máximas de 16 kgNha^{-1} (N120- Urea al voleo). Salvagiotti (2005) en Oliveros, midió emisiones de hasta 16 kgNha^{-1} (N200 –Urea al voleo), mientras que en Rafaela, Fontanetto et al., (2006) cuantificaron la volatilización en Trigo en 5,8 kg Nha^{-1} . En esta localidad, las pérdidas en el mes de octubre sobre un experimento de maíz alcanzaron entre 14,1 % (N80-urea al voleo, rastrojo bajo) y 21 % (N80-urea al voleo, rastrojo alto) y en noviembre un rango de 25,7 a 35,8 para igual dosis, fuente y cobertura, respectivamente. Durante la campaña 2008/09, las condiciones ambientales de Pergamino se asemejaron a las que predominan en localidades ubicadas más al norte, favoreciendo la sobreexpresión del proceso de volatilización. Es de esperar que en un año con registros medios de temperatura y humedad, las pérdidas de N alcancen valores

intermedios a los determinados en la región pampeana sur –Balcarce- y norte –Oliveros o Rafaela-.

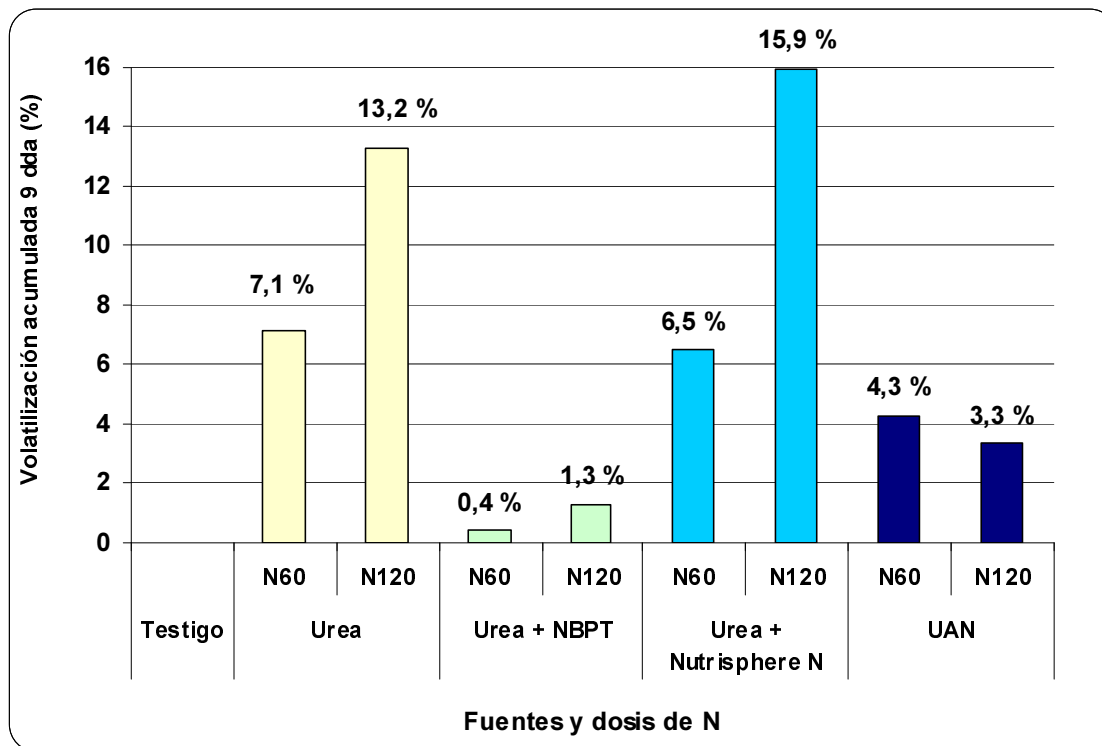


Figura 4: Incremento relativo en las pérdidas de N en forma de NH_3 , con relación al testigo no fertilizado, al noveno día desde la aplicación de los fertilizantes. Fuentes, dosis y uso de inhibidores de la volatilización de nitrógeno en Maíz. Pergamino, campaña 2008/09.

Los tratamientos se manifestaron claramente en parámetros simples de cultivo (Tabla 3), que en alguna medida anticiparon lo que sucedería más tarde en los rendimientos. El testigo mostró síntomas claros de deficiencias de N. Las diferencias entre dosis se manifestaron en variables simples, como las lecturas Spad o el número de hojas verdes en floración. Esta medida fue especialmente sensible, marcando diferencias entre dosis para aquellas fuentes que sufrieron pérdidas de menor magnitud, es decir, que lograron absorber el N aplicado.

Tabla 3: Índice de verdor (Unidades Spad), número de hojas verdes y secas, altura de plantas y de inserción de espigas. Evaluación de fuentes, dosis y uso de inhibidores de la volatilización de nitrógeno en Maíz. Pergamino, Campaña 2008/09.

Nº	Tratamiento	Lecturas Spad	Número hojas senescidas R1	Número hojas verdes R1	Altura plantas (cm)	Altura inserción (cm)
T1	Testigo	39,0	6	10	205	110
T2	Urea 60	40,8	5	12	233	110
T3	Urea 120	43,5	4	13	230	105
T4	Urea 60 + NBPT	39,7	5	12	238	125
T5	Urea 120 + NBPT	42,2	3	14	230	120
T6	Urea 60 + Nutrisphere-N	42,2	5	12	225	110
T7	Urea 120 + Nutrisphere-N	42,5	5	12	230	125
T8	UAN 60	41,1	4	13	225	105
T9	UAN 120	44,4	2	15	230	120

Se determinaron diferencias en rendimiento entre tratamientos ($P=0,003$; $CV=6,7\%$). El testigo se diferenció netamente del resto (Figura 5). En general, la dosis menor (N60) permitió alcanzar el rendimiento máximo para todas las fuentes, a excepción de las Urea tratada con Nutrisphere-N, que fue la fuente con mayores pérdidas de N. La sequía que imperó durante la campaña limitó los rendimientos y con ello la capacidad de respuesta a N, impidiendo así que el agregado de N120 se manifestara por sobre la dosis inferior.

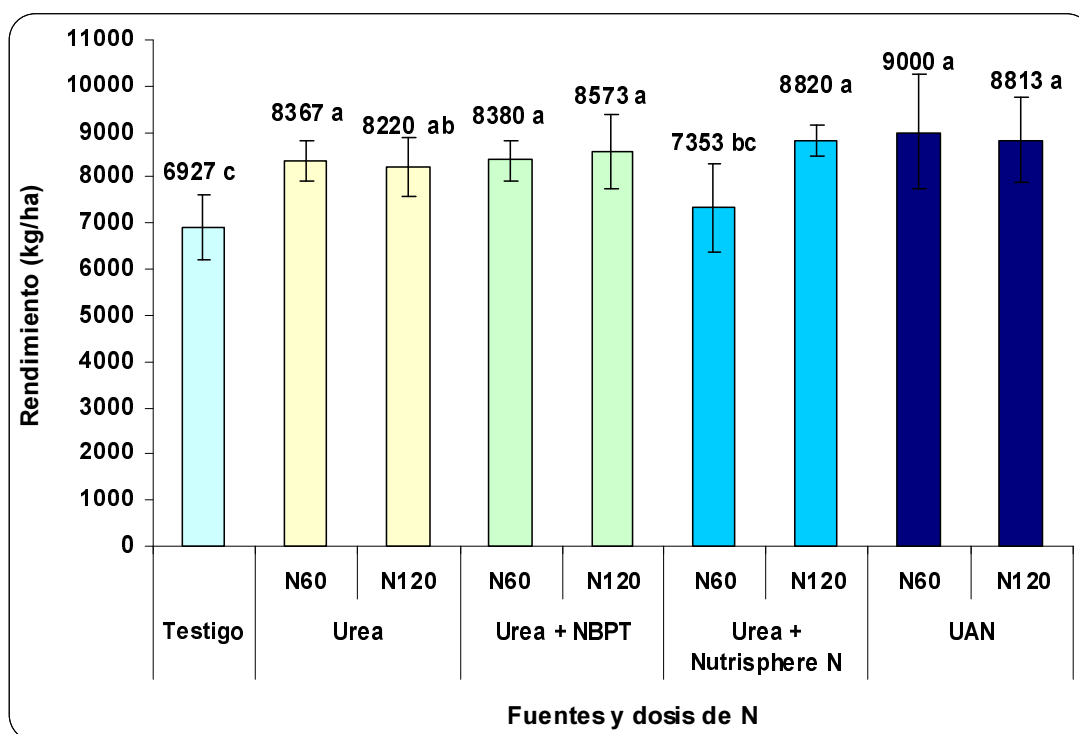


Figura 5: Producción de grano (kg ha^{-1}) de diferentes dosis, fuentes y tratamientos con inhibidores de la volatilización de N en maíz. Letras distintas en las columnas representan diferencias significativas entre tratamientos ($LSD \alpha=0,05$). Las barras verticales indican la desviación Standard de la media. Pergamino, Campaña 2008/09.

Los rendimientos correlacionaron de manera positiva y significativa con el número de hojas verdes fotosintéticamente activas y el número de plantas, mientras que la relación fue inversa con el número de hojas senescentes. Estas variables guardaron mayor relación con los rendimientos que las lecturas de Spad o la magnitud de las pérdidas de N por volatilización (Tabla 5).

Tabla 5: *Correlación (coeficiente R) entre el rendimiento y las variables evaluadas en el ensayo.*

Tratamientos	Coefficiente de correlación (R)	Sign. est . P=
Unidades Spad	0,45	0,22 n.s.
Pérdidas N (kg)	0,28	0,45 n.s.
Hojas verdes R2	0,70	0,03
Hojas senescentes R2	-0,62	0,07
Altura (cm)	0,69	0,03
Altura inserción (cm)	0,32	0,38
NG		
P1000		

Conclusiones:

*Bajo condiciones predisponentes se registraron en la localidad de Pergamino pérdidas moderadas de N por volatilización. Estas alcanzaron un rango de 3,1 a 22,2 kgN ha⁻¹, y podrían considerarse muy próximas al máximo esperable para la localidad.

*La magnitud de las pérdidas fue afectada por la fuente, la dosis y el uso de inhibidores. El incremento de la dosis satura la capacidad del suelo para retener amonio y produce un aumento de las pérdidas en términos absolutos y relativos. El inhibidor NBPT fue efectivo para reducir la producción de NH₃ a niveles similares al testigo. No sucedió lo mismo con Nutrisphere-N, el cual no logró reducir las emisiones de amonio con relación a la fuente sin tratar.

*El rendimiento reflejó efecto de tratamiento, el cual siguió la tendencia de las pérdidas por volatilización y se asoció a variables simples que reflejaron el grado de nutrición nitrogenada. No obstante, el rendimiento máximo se alcanzó con la dosis de N60, lo cual se atribuye a una limitación en los rendimientos y la demanda de N causada por sequía.

* Los resultados reflejan la factibilidad de alcanzar elevadas EUN y reducir las pérdidas con una variedad de estrategias de fertilización. La utilización de inhibidores de la volatilización brinda una herramienta de manejo adicional a las ya conocidas – incorporación mecánica, proximidad de lluvias- ampliando el espectro de fuentes nitrogenadas que pueden utilizarse en forma segura y confiable.

Literatura citada

- * Barbieri, P. A.; Echeverría, H. E. y Sainz Rosas, H. 2005. “Cuantificación de las pérdidas de nitrógeno por volatilización en el cultivo de maíz en función de la fuente, dosis y métodos de colocación del fertilizante”. (Convenio INTA Balcarce - Profertil, 2004/05).
- * Fontanetto, Hugo y Keller, Oscar. 2006. Manejo de la fertilización en Maíz. Experiencias en la Región Pampeana Argentina. En: Información Técnica de Cultivos de Verano. Campaña 2006. Publicación Miscelánea N° 106. pp 85-113 INTA EEA Rafaela.
- * Keeny D R, Nelson W D. 1982. In Methods of Soil Analysis. Part. 2. Chemical and Microbiological properties, A L Page ed. pp. 643-693. American Society of agronomy, Madison, Wisconsin (USA).
- * Nommik H. 1973. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest soil. *Plant Soil.* 39:309-318.
- * Osmond, D, C. Crozier, J. Dunphy, K. Edminsten, L. Fisher, R. Heiniger, R Weisz and D. Hardy. 2008. Testing New Fertilizers and Fertilizer Additives. Department of Soil Science. NC State university. Disponible on line. www.stanly.ces.ncsu.edu/files/library/84/Fertilizer%20Additives.3.7.2008.pdf
- * Sainz Rozas, H, Echeverría H.E, Studdert G.A, Andrade, FH, 1997a. Volatilización de amoníaco desde urea aplicada al cultivo de maíz bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo* 15: 12-16
- * Trenkel, M.E. 1997. Improving Fertilizer Use Efficiency. Controlled-Release and Stabilized Fertilizers in Agriculture. 151 p
- * Videla, CC. 1994. La volatilización de amoníaco: una vía de pérdida de nitrógeno en sistemas agropecuarios. EEA Balcarce INTA Bol.Tec. 131, 16 p.
- * Salvagiotti, F. 2005. “Cuantificación de las pérdidas de nitrógeno por volatilización y su efecto en el rendimiento del cultivo de maíz”. EEA INTA Oliveros. (Convenio INTA Oliveros - Profertil, 2004/05)
- * Watson, C.J. 2000. Urease activity and inhibition. Principles and practice. The International Fertiliser Society. Proceeding N° 454. 39 p