

PERDIDAS DE NITROGENO POR VOLATILIZACION E IMPLICACIONES EN EL RENDIMIENTO DE MAIZ

Gustavo N. Ferraris¹, Lucrecia A. Couretot¹ y Mirta Toribio²

Introducción

La pérdida de nitrógeno (N) por volatilización del gas amoníaco (NH₃) 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 depende de factores ambientales (temperatura, viento y tensión de vapor superficial), factores de suelo [pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y contenido de materia orgánica] y factores de manejo (cobertura y calidad de los residuos en superficie y dosis y localización del fertilizante).

En la región pampeana de Argentina, los cultivos de gramíneas habitualmente se fertilizan con fuentes nitrogenadas sólidas y líquidas. Existen datos locales sobre las pérdidas de N por volatilización de dichas fuentes, pero esta información representa solamente casos puntuales lo que hace necesario ampliar la dimensión geográfica y temporal de estas evaluaciones. Por otro lado, en los últimos años se han desarrollado inhibidores de ureasa, enzima que cataliza la hidrólisis de la urea, para reducir las pérdidas de N por volatilización y mejorar la eficiencia de uso del N aplicado. La eficacia de estos inhibidores debe evaluarse localmente.

El objetivo de este trabajo fue cuantificar las pérdidas de N en forma de NH₃ y el rendimiento de maíz de tratamientos que recibieron aplicaciones de distintas fuentes nitrogenadas, dosis crecientes de N e inhibidores de la ureasa.

Materiales y métodos

El ensayo fue conducido en la localidad de Pergamino, sobre un suelo serie Pergamino, Argiudol típico, Clase de



Foto 1. Medición de emisiones de N en forma de NH₃. INTA, EEA Pergamino, Noviembre de 2008.

uso 1 de muy buena productividad. Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones y siete tratamientos (**Tabla 1**).

El ensayo se sembró el 10 de octubre de 2008 bajo el sistema de siembra directa (SD) utilizando el híbrido Syngenta NK 910. La rotación anterior fue trigo/soya. Todas las parcelas recibieron una aplicación de 20 kg P ha⁻¹ y 18 kg S ha⁻¹ a la siembra. Las fuentes utilizadas fueron superfosfato triple y sulfato de calcio. Las diferentes fuentes de N se aplicaron también a la siembra. La urea y urea+NBPT se aplicaron al voleo y el UAN se aplicó en chorro en banda superficial. La urea + NBPT es urea tratada previamente con NBPT [n (n-butyl) tiamida tiofosfórica], compuesto que actúa bloqueando la enzima ureasa por diez días aproximadamente (Trenkel, 1997; Watson, 2000). El análisis de suelo del sitio experimental que se presenta en la **Tabla 2** indica niveles relativamente bajos de materia orgánica y N y contenido normal de P y muy bajo de S.

Para cuantificar la volatilización del NH₃ se utilizó el método de absorción semiabierto estático, adaptado del propuesto por Nommik (1973) y utilizado por Videla

Tabla 1. Fuentes y dosis de N utilizadas en el ensayo con maíz conducido en Pergamino, Argentina, campaña 2008-2009.

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

¹ Area de Desarrollo Rural INTA, EEA Pergamino

² Investigación & Desarrollo Profertil SA. Correo electrónico: nferraris@pergamino.inta.gov.ar

Tabla 2. Análisis de suelo del sitio experimental al momento de la siembra.

Profundidad cm	MO %	pH	N total	NO ₃ ppm	NO ₃ kg ha ⁻¹	P-Bray	SO ₄	K ppm	Mg	Ca
0 - 20	2.5	5.8	1.26	10	26	19	2	508	122	1717
20 - 40				8	22					
40 - 60				4	11					

Tabla 3. Registros ambientales diarios de los nueve días posteriores a la aplicación de los fertilizantes (17 al 26 de noviembre del 2008) en Pergamino, Argentina.

	----- Días desde la aplicación de los fertilizantes -----									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T máxima (° 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
Precipitación (mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	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
HR (%)	49.5	48.5	51.5	53.5	50.5	52.5	45.5	57.5	58.5	73.0

(1994). El procedimiento consiste en atrapar el NH₃ en dos planchas de poliuretano de 1.5 cm de espesor embebidas en ácido sulfúrico colocadas en un cilindro de polietileno de 30 cm de diámetro por 50 cm de altura (**Foto 1**).

La ausencia de precipitaciones que interrumpieran el proceso permitió cuantificar la volatilización del NH₃ por nueve días consecutivos desde la aplicación del fertilizante.

La intensidad del índice de verdor mediante el medidor de clorofila SPAD 502, la altura de plantas e inserción de la espiga principal y el número de hojas verdes y senescentes se evaluaron en floración plena (estado R2). La cosecha se realizó en forma manual con trilla estacionaria de las muestras. 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. Debido a variancias heterogéneas entre tratamientos, se modelaron las covariancias por tratamiento para el N total volatilizado en 9 días.

Resultados y discusión

En la **Tabla 3** se visualizan las condiciones ambientales prevalentes en los días posteriores a la aplicación de los fertilizantes. En este periodo se cuantificaron las pérdidas de N en forma de NH₃. Estas condiciones se caracterizaron por presentar elevadas temperaturas, alta insolación, viento predominante del sector norte y baja humedad relativa. Además, el sitio tenía una cobertura del 75 % (método de la recta transecta) compuesta por residuos de trigo y soja que no superaron los 2 cm de espesor. Estas condiciones configuran un ambiente

favorable para que ocurra el proceso de volatilización, por lo que se puede considerar que las emisiones medidas podrían ser muy cercanas al máximo probable para la localidad del estudio.

La emisión de NH₃ fue detectable desde el inicio del ensayo, pero sólo se evidenciaron diferencias entre tratamientos a partir del tercer día (**Figura 1**). Se nota que aún el testigo sin fertilización mostró pérdidas cuantificables de N por volatilización, superiores a las observadas por otros investigadores (Sainz Rozas et al., 1997; Barbieri et al., 2005; Salvaggiotti, 2005; Fontanetto et al., 2006). Esto muestra la severidad ambiental bajo la cual se realizaron las mediciones.

Se observaron también diferencias significativas entre tratamientos para la volatilización acumulada de N (P<0.001). Las pérdidas por volatilización de la urea sola y del UAN superaron significativamente al testigo (**Figura 1, Tabla 4**). El inhibidor NBPT agregado a la urea logró mitigar casi en forma completa las pérdidas y los tratamientos correspondientes no fueron significativamente diferentes del testigo. En el caso de la urea, la volatilización se vio además favorecida por la concentración del sustrato, es decir, al incrementar la dosis de fertilizante las pérdidas porcentuales de N tendieron a aumentar. Esto sucede por la saturación de la capacidad tampón del amonio (NH₄), limitada en este caso por el bajo contenido de materia orgánica del suelo (**Tabla 2**).

Las pérdidas máximas se alcanzaron con la dosis de 120 kg N ha⁻¹ agregados como urea (19 kg N ha⁻¹, **Figura 1** y **Tabla 4**). Para calcular el N perdido del fertilizante se deben restar los 3.14 kg N ha⁻¹ capturados en el tratamiento testigo y dividirlos por los kg de N aplicados

Tabla 4. Volatilización acumulada de N y porcentaje del N volatilizado proveniente del fertilizante a lo largo del periodo de evaluación en Pergamino, Argentina.

Tratamiento	Volatilización acumulada de NH ₃		NH ₃ volatilizado del fertilizante %
	Promedio	Error estándar	
	----- kg ha ⁻¹ -----		
Testigo	3.1	0.23	-
Urea 60	7.4	1.96	7.1
Urea 120	19.0	8.17	13.2
Urea + NBPT	3.4	0.25	0.4
Urea + NBPT	4.7	1.04	1.3
UAN 60	5.7	0.75	4.3
UAN 120	7.1	0.56	3.3

con el fertilizante. Luego del cálculo, las pérdidas de N proveniente de los fertilizantes alcanzan un rango de 0.4 a 13.2 % (Tabla 4).

Experimentos en maíz conducidos en otros lugares de Argentina produjeron resultados similares. En Balcarce se registraron pérdidas máximas de 16 kg N ha⁻¹ (120 kg N ha⁻¹, urea al voleo) (Barbieri et al., 2005). En Oliveros se midieron emisiones de hasta 16 kg N ha⁻¹ (200 kg N ha⁻¹, urea al voleo) (Salvagiotti, 2005). En esta última localidad, las pérdidas en el mes de octubre alcanzaron un rango entre 14 % (80 kg N ha⁻¹, urea al voleo y rastrojo bajo) y 21 % (80 kg N ha⁻¹, urea al voleo y rastrojo alto) y en noviembre un rango de 26 a 36 % para igual dosis, fuente y cobertura. En Rafaela se cuantificaron pérdidas por volatilización de 5.8 kg N ha⁻¹ en trigo (Fontanetto et al., 2006).

Durante la campaña 2008-2009, las condiciones ambientales de Pergamino se asemejaron a aquellas predominantes en localidades ubicadas más al norte, favoreciendo ampliamente el proceso de volatilización. Es de esperarse que las pérdidas de N por volatilización en un año con registros medios de temperatura y humedad alcancen valores intermedios a los determinados en sitios localizados más al norte o sur del sitio experimental.

Los efectos de los tratamientos se manifestaron en varios parámetros medidos durante el ciclo de

crecimiento del cultivo (Tabla 5) y en alguna medida anticiparon lo que sucedería luego con los rendimientos. El testigo mostró síntomas claros de deficiencias de N. Las diferencias entre dosis se manifestaron en variables como las lecturas de índice de verdor con 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 dejaron más N en el suelo para que la planta lo pueda absorber.

A la cosecha se observaron diferencias significativas en rendimiento entre tratamientos (P = 0.003; CV = 6.7 %). El testigo se diferenció claramente del resto de tratamientos (Figura 2). En general, la diferencia en rendimiento obtenida con las dosis de N de todas las fuentes no fue apreciable. La sequía que imperó durante la campaña 2008-2009 limitó los rendimientos y probablemente la respuesta a N, impidiendo así que se manifiesten en el rendimiento los posibles efectos de la dosis más alta (120 kg N ha⁻¹) y de la menor pérdida por volatilización en los tratamientos con inhibidor de la ureasa.

Conclusiones

Se registraron elevadas pérdidas por volatilización del N proveniente de la urea bajo condiciones predisponentes en la localidad de Pergamino, Argentina. Las pérdidas alcanzaron un rango de 3 a 19 kg N ha⁻¹ y podrían

Tabla 5. Efecto de las fuentes, dosis e inhibidores de la volatilización de N en el índice de verdor (unidades SPAD), número de hojas verdes y secas, altura de plantas y de inserción de espigas en Maíz en Pergamino, Argentina.

Tratamiento	Lecturas SPAD	Número hojas senescidas R1	Número hojas verdes R1	Altura plantas cm	Altura inserción cm
Testigo	39.0	6	10	205	110
Urea 60	40.8	5	12	233	110
Urea 120	43.5	4	13	230	105
Urea + NBPT	39.7	5	12	238	125
Urea + NBPT	42.2	3	14	230	120
UAN 60	41.1	4	13	225	105
UAN 120	44.4	2	15	230	120

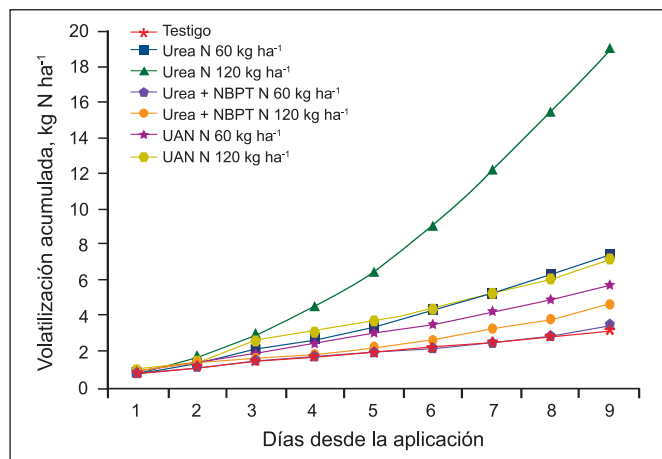


Figura 1. Emisión acumulada de N en forma de NH₃ a lo largo del periodo de evaluación en Pergamino, Argentina.

considerarse muy próximas al máximo esperable para la localidad. La magnitud de las pérdidas de N por volatilización fue afectada por la fuente, la dosis y el uso de inhibidores de la ureasa. Las mayores pérdidas de N del fertilizante se observaron con la aplicación de urea, con promedios de 7.1 y 13.2 % para las dosis de 60 y 120 kg N ha⁻¹, respectivamente. La aplicación de UAN redujo las pérdidas de N por volatilización con un promedio de 4.3 y 3.3 % con las dosis de 60 y 120 kg N ha⁻¹, respectivamente. La presencia del inhibidor de la ureasa (NBPT) en la urea fue muy efectiva para reducir la volatilización de N como NH₃ a niveles similares al testigo. Las pérdidas de N por volatilización con las dosis de 60 y 120 kg N ha⁻¹ que incluyeron inhibidor de la ureasa fueron de 0.4 y 1.3 %, respectivamente.

El efecto de los tratamientos en el rendimiento siguió la tendencia de las pérdidas por volatilización y se asoció a variables simples que reflejaron el estado de la nutrición nitrogenada. El rendimiento en general obtenido con los diferentes tratamientos con N no fue el rendimiento esperado para la localidad, condición que se atribuye a la baja demanda de N causada por el estrés hídrico imperante durante el ciclo del cultivo. Sin embargo, los resultados de este experimento reflejan la factibilidad de alcanzar elevada eficiencia de uso y la posibilidad de reducir las pérdidas de N con una variedad de estrategias de fertilización. La utilización de inhibidores de la ureasa es una herramienta de manejo adicional a las ya conocidas, que permite ampliar el espectro de fuentes nitrogenadas que pueden utilizarse en forma segura y confiable.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por Profertil S.A. y el Proyecto Regional Agrícola, CERBAN, INTA.

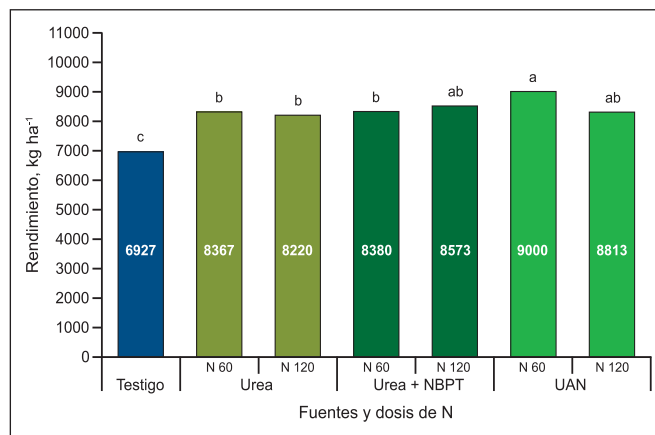


Figura 2. Efecto de diferentes fuentes, dosis e inhibidores de la volatilización de N en el rendimiento de grano de maíz en Pergamino, Argentina. Letras distintas en las columnas representan diferencias significativas entre tratamientos (DMS $\alpha = 0.1$).

Bibliografía

- Barbieri, P.A., H.E. Echeverría y H. Sainz Rozas. 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, H. y O. Keller. 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.
- Nommik, H. 1973. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest soil. *Plant Soil*. 39:309-318.
- Sainz Rozas, H., H.E. Echeverría, G.A. Studdert y F.H. Andrade. 1997. Volatilización de amoníaco desde urea aplicada al cultivo de maíz bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo* 15: 12-16
- 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
- Trenkel, M.E. 1997. Improving Fertilizer Use Efficiency. *Controlled-Release and Stabilized Fertilizers in Agriculture*. 151 p.
- Videla, C.C. 1994. La volatilización de amoníaco: una vía de pérdida de nitrógeno en sistemas agropecuarios. EEA Balcarce INTA Bol. Tec. 131, 16 p.
- Watson, C.J. 2000. Urease activity and inhibition. *Principles and practice. The International Fertiliser Society. Proceeding N° 454*. 39 p. ❀