

PÉRDIDAS DE NITRÓGENO POR VOLATILIZACIÓN Y SU IMPLICANCIA EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ: EFECTOS DE FUENTE, DOSIS Y USO DE INHIBIDORES

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

¹Área de Desarrollo Rural INTA EEA Pergamino - ²Investigación & Desarrollo Profertil SA
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. En los últimos años, se han desarrollado inhibidores de la enzima ureasa, que cataliza la hidrólisis de la urea, para reducir las pérdidas por volatilización y mejorar la eficiencia de uso del N aplicado. La eficacia de estos inhibidores debe ser evaluada localmente.

El objetivo de este trabajo fue comparar las pérdidas gaseosas en forma de NH_3 y el rendimiento de maíz entre tratamientos que recibieron distintas fuentes nitrogenadas, inhibidores de la hidrólisis de la urea y dosis de N. Hipotetizamos que las pérdidas de N

pueden ser minimizadas a través de una adecuada combinación de fuente, dosis y uso de inhibidores.

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 siete tratamientos, los cuales se presentan en la Tabla 1.

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 dosis de 20 kg P ha⁻¹ y 18 kg S ha⁻¹. Las fuentes utilizadas fueron superfosfato triple de calcio (0-20-0) y sulfato de calcio (0-0-0-S18). Los fertilizantes nitrogenados fueron aplicados a la siembra, la Urea y la Urea+NBPT al voleo y el UAN chorreado en superficie. Urea + NBPT es un fertilizante en el cual la urea (46-0-0) fue tratada previo a su aplicación con NBPT (*n-butyl*) *tiamida* *tiofosfórica*), el cual actúa bloqueando la enzima ureasa por el término de diez días aproximadamente (Trenkel, 1997; Watson, 2000). 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 1. Detalle de fuentes y dosis de N para cada tratamiento evaluado en la localidad de 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 + NBPT	60
T5	Urea + NBPT	120
T6	Solución de Urea-Nitrato de amonio (UAN)	60
T7	Solución de Urea-Nitrato de amonio (UAN)	120



Figura 1. Medición de emisiones de N en forma de NH_3 . INTA EEA Pergamino, noviembre de 2008.

Tabla 2. Análisis de suelo al momento de la siembra.

Prof. (cm)	MO (%)	pH	N total	N-NO ₃ mg kg ⁻¹	N-NO ₃ kg/ha	P-Bray	S-SO ₄	K	Mg	Ca
						mg kg ⁻¹				
0-20	2.53	5.8	1.26	10.0	26.0	18.8	1.7	508.3	122	1717
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, en dos planchas de poliuretano de 1.5 cm de espesor embebidas en ácido sulfúrico (Fig. 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.

En floración plena (estado R2), se evaluaron la intensidad de verdor mediante el medidor SPAD 502, 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. 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 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 presentar 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), compuesta por residuos de trigo y soja que no superaron los 2 cm de espesor. 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.

La emisión de NH₃ fue detectable desde el inicio del ensayo, pero sólo se evidenciaron diferencias entre tratamientos a partir del tercer día (Fig. 2). Nótese que aún el Testigo sin fertilización mostró pérdidas cuantificables de N, superiores a las observadas por otros investigadores (Sainz Rozas et al., 1997; Barbieri et al., 2005) y 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.

Hubo diferencias significativas entre tratamientos para la variable volatilización acumulada de N ($P < 0.001$). Las pérdidas por volatilización no difirieron entre Urea sola y UAN (cualquier dosis) y superaron significativamente al Testigo (Fig. 2, Tabla 4). El inhibidor NBPT agregado a la Urea logró mitigar casi en forma completa las pérdidas, no difiriendo significativamente del Testigo. Para Urea, la reacción además fue favorecida por la concentración del sustrato. Es decir, al incrementar la dosis de fertilizante, las pérdidas porcentuales tendieron a aumentar. Esto sucede por la saturación de la capacidad buffer de amonio (NH₄), limitada en este caso por el bajo contenido de materia orgánica del suelo (Tabla 2).

Las pérdidas máximas se alcanzaron para la dosis de N120 agregados como Urea, siendo de 19 kg N ha⁻¹, respectivamente (Fig. 2 y Tabla 4). Para calcular el N perdido desde el fertilizante se deben restar los 3.14 kg N ha⁻¹ capturados en el Testigo y dividir por los kg N aplicados con el fertilizante. Así calculadas, las pérdidas de N proveniente de los fertilizantes alcanzarían un rango de 0.4 a 13.2%, respectivamente (Tabla 4).

En Balcarce, Barbieri et al. (2005) registraron pérdidas máximas de 16 kg N ha⁻¹ (N120 - Urea al voleo). En Oliveros, Salvagiotti (2005) midió emisiones de hasta 16 kg N ha (N200 - Urea al voleo), mientras que en Rafaela, Fontanetto et al. (2006) cuantificaron la volatilización en trigo en 5.8 kg N ha⁻¹. En esta localidad, las pérdidas en el mes de octubre sobre un experimento de maíz alcanzaron un rango entre 14% (N80 - urea al voleo, rastrojo bajo) y 21% (N80 - urea al voleo, rastrojo alto) y en noviembre un rango de 26% a 36% 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).

Tabla 3. Registros ambientales diarios (17 al 26 de noviembre) de nueve días posteriores a la aplicación de los fertilizantes. 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 (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
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

Los tratamientos se manifestaron en parámetros simples de cultivo (Tabla 5), 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 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.

Se determinaron diferencias en rendimiento entre tratamientos ($P=0.003$; $CV=6.7\%$). El Testigo se diferenció claramente del resto (Fig. 3). En general, la menor dosis (N60) permitió alcanzar el rendimiento máximo para todas las fuentes. La sequía que imperó durante la campaña limitó los rendimientos y probablemente la respuesta a N, impidiendo así que se manifestaran los efectos de la dosis superior y de la menor pérdida por volatilización con el agregado del inhibidor de la ureasa.

Conclusiones

Se registraron pérdidas elevadas de N por volatilización bajo condiciones predisponentes en la localidad de Pergamino. Estas alcanzaron un rango de 3 a 19 kg N ha⁻¹ y podrían 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. Las mayores pérdidas de N del fertilizante se observaron con la aplicación de urea, promediando 7.1 y 13.2% para las dosis de N60 y N120. La aplicación de UAN redujo las pérdidas pero éstas no fueron significativamente distintas a la aplicación de

Urea, promediando 4.3 y 3.3% (para N60 y N120, respectivamente). La presencia del inhibidor NBPT en la urea fue muy efectiva para reducir la producción de NH₃ a niveles similares al Testigo. Las pérdidas de las dosis N60 y N120 para este último tratamiento fueron de 0.4 y 1.3%, respectivamente.

El rendimiento reflejó efecto de tratamiento, siguió la tendencia de las pérdidas por volatilización y se asoció a variables simples que reflejaron el grado de nutrición nitrogenada, como el índice de verdor (SPAD), el número de hojas verdes y secas, la altura de plantas y de inserción de espigas. No obstante, el rendimiento máximo se alcanzó con la dosis de N60, lo cual se atribuye a una limitación en los rendimientos y a la baja demanda de N causada por el estrés hídrico.

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.

Agradecimientos

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

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

Tabla 4. Volatilización acumulada en 9 días para cada tratamiento y porcentaje del N volatilizado proveniente del fertilizante. Pergamino, campaña 2008/09.

Tratamiento	Volatilización acumulada de N-NH ₃		N-NH ₃ volatilizado del fertilizante %
	Promedio	Error estándar	
	kg/ha		
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

Tabla 5. 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.

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

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

Trenkel M.E. 1997. Improving Fertilizer Use Efficiency. Con-

trolled-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.

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. ■

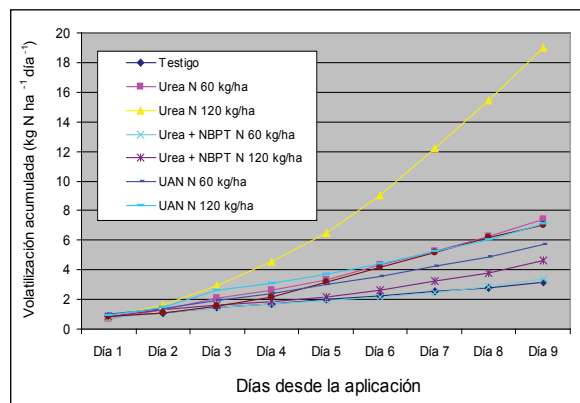


Figura 2. Emisión acumulada de nitrógeno (kg N ha^{-1}) en forma de NH_3 a lo largo del experimento. Pergamino, campaña 2008/09.

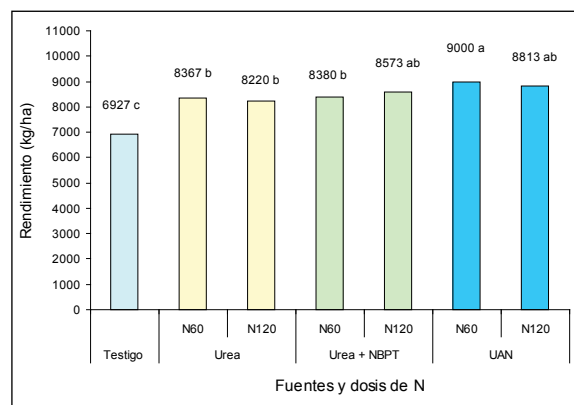


Figura 3. Rendimiento en grano (kg ha^{-1}) de diferentes dosis, fuentes y tratamientos con inhibidores de la volatilización de N en maíz. Letras distintas en las columnas representan diferencias significativas entre tratamientos (DMS $\alpha=0.1$).

CARACTERIZACIÓN DE LA DINÁMICA DE INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE COSECHA AL SUELO EN UN SISTEMA AGRÍCOLA EN SIEMBRA DIRECTA EN EL CENTRO-OESTE DE BUENOS AIRES

Pablo F. Richmond y Sergio N. Rillo
AER INTA 9 de Julio, Buenos Aires, Argentina.
richmond.pablo@gmail.com

Introducción

Los efectos de los rastrojos sobre el suelo en sistemas de siembra directa (SD) son conocidos: atenuación de las variaciones de temperatura, protección de la superficie contra el impacto de la gota de lluvia y el viento, una mayor oportunidad de infiltración para el agua, disminución de la evaporación y aumento de la disponibilidad de humedad para los cultivos. No se dispone, en cambio, de suficiente información sobre la dinámica de descomposición de los rastrojos en la zona centro-oeste de Buenos Aires, que permita cuantificar la tasa de incorporación del carbono (C) aportado al suelo. El proceso de descomposición de los residuos orgánicos depende del ambiente químico generado por el residuo y de su interacción con los microorganismos del suelo. Los factores del suelo que controlan el proceso son: humedad, temperatura, pH, aireación y disponibilidad de nutrientes (Schjonning et al., 1999). Los más determinantes son el contenido de humedad, los eventos de secado y rehumedecimiento (Kruse et al., 2004) y la temperatura del suelo (Rodrigo

et al., 1997; Kätterer, 1998). Entre los factores del residuo encontramos: composición química, relación carbono/nitrógeno (C:N), contenido de lignina (Whitmore, 1996) y tamaño de las partícula del residuo, así como la forma de contacto con el suelo y la microflora natural (Parr y Papendick, 1978). Los factores que producen el mayor efecto sobre el crecimiento y actividad microbiana tendrán el mayor potencial para alterar la tasa de descomposición (Creus et al., 1998). Parte del C producto de la descomposición del rastrojo es liberado como dióxido de carbono (CO_2) y otra parte es asimilada por la biomasa microbiana involucrada en el proceso de descomposición (Alexander, 1997; Gilmour et al. 2003). Para que ocurra la asimilación del C, el N también debe ser asimilado en cantidades determinadas por la relación C:N de la biomasa microbiana. Como regla general, las células microbianas contienen 5 a 15 partes de carbono por una parte de N, pero 10:1 es un promedio razonable para la flora predominantemente aeróbica (Alexander, 1997).