

FERTILIZACIÓN DE MAÍZ CON UREA DE LIBERACIÓN LENTA: PÉRDIDA POR VOLATILIZACIÓN Y EFICIENCIA DE USO DE NITRÓGENO

PA BARBIERI¹; HE ECHEVERRÍA¹; HR SAÍNZ ROZAS^{1,2} & M MARINGOLO³

1 Unidad Integrada Balcarce: EEA INTA Balcarce - Fac. Ciencias Agrarias (UNMdP), CC. 276, (7620), Balcarce, Argentina.

2 CONICET. 3 Tesista de grado Fac. Ciencias Agrarias (UNMdP) Correo electrónico: pbarbieri@balcarce.inta.gov.ar

Recibido: 09-12-09

Aceptado: 10-06-10

RESUMEN

Las pérdidas de nitrógeno (N) reducen la eficiencia de uso de dicho nutriente (EUN). Se han desarrollado productos tales como el copolímero maleico-itacónico (NSN) y triamida N-(n-butil) tiofosfórica (nBTPT) que agregados a la urea disminuyen la tasa de liberación de N pudiendo reducir las pérdidas. El objetivo fue determinar durante dos años las pérdidas por volatilización de N-NH₃, la respuesta en rendimiento, el N en grano y la EUN del cultivo de maíz bajo SD desde urea tratada con dichos productos. Para ello se realizaron experimentos utilizando Urea, Urea+NSN y Urea+nBTPT, en combinación con dosis de N (60 y 120 kg ha⁻¹). Las pérdidas de N-NH₃ se extendieron por 7 y 18 días para el Año 1 y 2, respectivamente. En ambos años, las pérdidas de N-NH₃ determinadas para Urea fueron superiores respecto de Urea+ aditivos. Las pérdidas en el Año 1 desde Urea fueron del 3 y 10% para 60 y 120 kg de N ha⁻¹, respectivamente, mientras que desde Urea+NSN no superaron el 0,5% para ambas dosis. En el Año 2, las pérdidas desde Urea fueron 2,3 y 3,8% para 60 y 120 kg de N ha⁻¹, respectivamente, mientras que desde Urea+NSN y Urea+nBTPT no superaron el 2% para ambas dosis. El rendimiento no se incrementó por el aumento de la dosis de N ni por el uso de NSN y nBTPT. El N en grano se incrementó con la dosis de N, mientras que la utilización de NSN y nBTPT no afectó dicha variable. La EUN, eficiencia fisiológica y de recuperación disminuyeron con el incremento de la dosis de N y no fue afectada por el uso de NSN y nBTPT. La utilización de dichos productos si bien fue efectiva para reducir las pérdidas por volatilización, no produjo incrementos significativos en rendimiento, contenido de N en grano y EUN, comportamiento que puede ser debido a que las pérdidas de N en estas condiciones no fue un mecanismo relevante.

Palabras clave. Volatilización, maíz, siembra directa, urea, NSN, nBTPT.

CORN FERTILIZATION WITH SLOW-SOLUBILIZATION UREA: AMMONIA VOLATILIZATION LOSSES AND NITROGEN USE EFFICIENCY

ABSTRACT

Nitrogen (N) loss reduces the efficient use of this nutrient (EUN). When added to Urea, products such as the maleic-itaconic copolymer NSN and thiophosphoric N-(n-butyl) triamide (nBTPT) slow down the rate of release of N and thereby diminish its loss. The aim of this study was to determine N volatilization losses (N-NH₃) during two growing seasons, grain yield, grain N content and NUE of corn under no-tillage using urea, urea with NSN and with nBTPT in combination with a dose of N (60 and 120 kg ha⁻¹). Volatilization losses were extended by 7 and 18 days in the first and second year, respectively. In both years, losses with Urea alone were higher than with Urea+NSN and with Urea+nBTPT. In first year, N-NH₃ losses with Urea alone were 3% and 10% for 60 and 120 kg of N ha⁻¹, respectively, whereas with Urea+NSN and Urea+nBTPT the losses were less than 0.5% in both cases. In the second year, N-NH₃ losses with Urea alone were 2.3% and 3.8% for 60 and 120 kg of N ha⁻¹, respectively, and with Urea+NSN and Urea+nBTPT, less than 2%. Grain yield did not improve by increasing N or by adding NSN or nBTPT. Grain N content increased with higher doses of N and was not affected by the use of NSN or nBTPT. Nitrogen use efficiency, physiological efficiency and recovery efficiency were reduced with increasing N but were not affected by the use of NSN and nBTPT. The use of these products was therefore effective in reducing N-NH₃ losses but did not significantly affect grain yield, grain N content and NUE. This could be due to the fact that under the environmental conditions of the present study, N loss is not a factor of high relevance.

Key words. Volatilization, corn, no-tillage, urea, NSN, nBTPT.

INTRODUCCIÓN

En los suelos de la Región Pampeana el nutriente que en mayor medida condiciona el crecimiento y rendimiento de los cultivos es el nitrógeno (N), que debe ser adecuadamente bien provisto en cantidad y oportunidad para asegurar un óptimo estado fisiológico de los cultivos

durante el período crítico (15 días antes a 15 después de floración), momento en el cual se define el rendimiento de los mismos (Uhart & Andrade, 1995).

Luego de la aplicación de fertilizantes nitrogenados se pueden producir pérdidas de N mediante los procesos de volatilización, desnitrificación y lavado, siendo la

magnitud de las mismas reguladas por el ambiente (Harper *et al.*, 1987). Las pérdidas de N reducen la eficiencia de recuperación o de absorción (ER) del N aplicado, el rendimiento, y por consiguiente, la eficiencia de uso o agronómica del N (EUN) Fageria & Baligar (2005). Por otra parte, el N perdido del sistema suelo-planta incrementa el riesgo de contaminación ambiental (Cassman *et al.*, 2002).

La volatilización de amoníaco (N-NH_3) es una importante vía de pérdida de N desde fertilizantes nitrogenados, principalmente cuando aquellos poseen urea en su formulación y son aplicados sobre la superficie del suelo. La magnitud de las pérdidas en sistemas de SD es afectada por factores ambientales (humedad, temperatura y viento), de suelo (pH, capacidad buffer, capacidad de intercambio catiónico, materia orgánica,) y de cultivo (cantidad y tipo de residuos de cosecha), fuente y dosis de N (Fenn & Kiesel, 1974; Ferguson *et al.*, 1984). A su vez, una rápida hidrólisis de la urea resulta en mayores potenciales de pérdidas de NH_3 , debido a que su velocidad depende de la actividad ureásica. Los factores que modifican la misma, como la concentración de urea, el pH, la temperatura y el contenido de agua (Kiessel & Cabrera, 1988), afectarán la magnitud de las pérdidas. En la zona de Rafaela, provincia de Santa Fe, se han determinado pérdidas de N por volatilización de hasta el 40% desde urea aplicada en superficie en verano bajo SD (Fontanetto *et al.*, 2002). En el norte de la provincia de Bs. As., Rimski-Korsakov *et al.* (2007) trabajando con N^{15} determinaron pérdidas de N-NH_3 por volatilización de hasta el 24% del N aplicado para el cultivo de maíz bajo SD. Por el contrario, la magnitud de dichas pérdidas no superó el 15% en el SE Bonaerense, siendo las mismas dependientes de las dosis de N utilizada (Sainz Rozas *et al.*, 1999). La menor temperatura y la mayor capacidad de intercambio catiónico de los suelos del SE Bonaerense explicarían los resultados obtenidos.

Se han desarrollado prácticas de manejo tendientes a disminuir los procesos de pérdida de N del sistema suelo planta, entre ellas se pueden mencionar: el ajuste de la dosis de fertilizante (Pagani *et al.*, 2008), la elección de la fuente de N (García *et al.*, 1999), el momento y método de aplicación (Sainz Rozas *et al.*, 2004; Barbieri *et al.*, 2003; Randall & Sawyer, 2006) y la utilización de fertilizantes de liberación lenta (Fox & Piekielek 1993; Watson *et al.*, 1994; Sainz Rozas *et al.*, 1999; Ferraris *et al.*, 2008). El nBTPT [triamida N-(n-butil) tiofosfórica] (Agrotain®) es un inhibidor de la actividad ureásica que ha mostrado ser efectivo para reducir las pérdidas por volatilización desde urea aplicada en superficie (Watson *et al.*, 1994; Sainz Rozas *et al.*, 1999). Otros materiales son los polímeros solubles en agua de alto peso molecular (Radwan & Debell, 1989), como el copolímero maleico-itacónico (Nutrisphere-N®, NSN), que recubre la urea y retarda los procesos de volatilización y nitrificación.

En el sudeste bonaerense, se ha determinado que las pérdidas de N en el cultivo de maíz bajo siembra directa (SD) se producen principalmente durante los estadios iniciales del ciclo del cultivo y se han reportado valores de ER que oscilaron del 48 y 68% para las aplicaciones al momento de la siembra y en seis hojas (V6), respectivamente (Sainz Rozas *et al.*, 2004). Dichos autores reportaron que los principales mecanismos de pérdida de N para las aplicaciones a la siembra fueron el lavado de nitratos (20 a 22% del N aplicado) y la desnitrificación (3 al 7% del N aplicado), mientras que la volatilización de NH_3 fue el principal mecanismo de pérdida cuando la urea se aplicó en V6 (hasta el 13% del N aplicado). En función de los antecedentes, se plantea como hipótesis que tanto para aplicaciones a la siembra o en el estadio de V6 del maíz la utilización de urea+NSN o de urea+nBTPT disminuyen las pérdidas de N e incrementan la EUN respecto de la urea común.

La fertilización nitrogenada es una práctica de manejo necesaria para la realización de una agricultura sustentable, no obstante, dado el costo de los fertilizantes nitrogenados y el impacto ambiental resultante de la aplicación de los mismos hacen necesario el desarrollo de estrategias de manejo tendientes a mejorar la EUN. Dada la escasa información acerca de la respuesta del cultivo de maíz a la aplicación de urea tratada con nBTPT y NSN, se plantea como objetivo de este trabajo determinar las pérdidas por volatilización, la respuesta en rendimiento y la EUN del cultivo de maíz bajo SD desde urea tratada con dichos productos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos fueron realizados en la Estación Experimental Agropecuaria del INTA Balcarce, durante las campañas 2004/2005 (Año 1) y 2008/2009 (Año 2), sobre cultivos de maíz realizados en dos lotes de prolongada historia agrícola (más de 30 años) y bajo SD en los últimos 5 años, con alta cobertura de rastrojos (mayor al 70%). En ambos años el suelo en donde se implantó la experiencia fue un Paleudol petrocálcico, algunas de las características se encuentran en la Tabla 1.

En el Año 1, el diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones con un arreglo factorial 2 x 2: dos tipos de fertilizantes (urea tratada con NSN = Urea+NSN y urea granulada = Urea) y dos dosis de N (60 y 120 kg ha⁻¹) aplicadas a la siembra. En el Año 2, el diseño fue en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones con un arreglo factorial 3 x 2: tres tipos de fertilizantes (Urea, Urea+NSN y Urea+nBTPT) y dos dosis de N (60 y 120 kg ha⁻¹). Las aplicaciones de N fueron realizadas al estadio de seis hojas (V6) (Ritchie & Hanway, 1982). En ambos años se incorporó un tratamiento testigo (0 kg N ha⁻¹) y los fertilizantes fueron aplicados al voleo en cobertura total.

Tabla 1. Algunas características edáficas (0-20 cm) de los sitios experimentales a la siembra del maíz en 2004/5 (Año 1) y en 2008/9 (Año 2).

Table 1. Some soil characteristics of experimental sites at sowing maize in 2004/05 (Year 1) and 2008/09 (Year 2) growing seasons.

Año	P (mg kg ⁻¹)	pH	MO (%)	N-NO ₃ ⁻ (0-60 cm) (kg ha ⁻¹)
Año 1	19,5	5,6	4,9	37,5
Año 2	15,0	5,7	5,4	21,8

El método para estimar el N-NH₃ volatilizado consistió en un sistema de absorción semiabierto estático, adaptado del propuesto por Nommik (1973) y utilizado en suelos de la zona por Barbieri *et al.* (2003). El mismo permitió atrapar el NH₃ por medio de un cilindro de polietileno de 30 cm de diámetro por 50 cm de altura que tiene en su parte superior dos planchas de poliuretano (goma espuma) de 1,5 cm de espesor. Las mismas están embebidas con H₂SO₄ 1 N y separadas 12 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 h y fueron lavadas con 1,5 L de agua desmineralizada. Una alícuota de 25 mL fue alcalinizada 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 fue titulado con H₂SO₄ 0,005 N para determinar la cantidad de N-NH₃ desprendida. Se colocó una trampa por parcela, distribuida en forma aleatoria y además los cilindros fueron enterrados en su parte inferior unos 5 a 7 cm dentro del suelo para ser fijadas al suelo y evitar escapes de NH₃ hacia la atmósfera. Las determinaciones de NH₃ volatilizado se realizaron desde la aplicación del fertilizante, hasta que los tratamientos con fertilización igualaron al testigo sin N o hasta la ocurrencia de una precipitación superior a los 10 mm.

En madurez fisiológica se determinó el rendimiento del cultivo, para ello se cosecharon tres surcos de 7,15 m de largo de cada unidad experimental, ajustándose el mismo al 14% de humedad. El N orgánico reducido acumulado en grano, se determinó por combustión seca (LECO, 2009) utilizando un equipo LECO TruSpec CN y la acumulación de N en grano se calculó multiplicando el rendimiento y la concentración de N en grano.

Se realizó el cálculo de la EUN como el producto entre la eficiencia fisiológica (EF) [incremento de rendimiento en grano (kg)/N absorbido desde el fertilizante (kg)] y la ER [N absorbido del fertilizante (kg)/N del fertilizante (kg)]. El incremento en rendimiento en grano, fue calculado como la diferencia entre el rendimiento de los tratamientos fertilizados menos el del testigo. El N proveniente del fertilizante fue calculado como la diferencia entre el N absorbido por los tratamientos fertilizados menos el del testigo.

El análisis de la varianza fue realizado usando el procedimiento GLM incluido en las rutinas del programa Statistical Analysis System (SAS) (SAS Institute Inc., 1985). Las diferencias entre medias de tratamiento fueron comparadas usando el test de diferencias mínimas significativas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones climáticas

Las precipitaciones registradas durante el ciclo del cultivo en el Año 1 totalizaron 331 mm, este valor se encuentra por debajo de la media histórica (1971-2000), el déficit hídrico estimado mediante el método del balance (Della Magiora, com. pers.) fue de 193 mm. Sin embargo, debido a los riegos suplementarios aplicados durante la floración del cultivo, el déficit hídrico fue de sólo 78 mm. No obstante durante los primeros 20 días de noviembre la precipitación excedió la evapotranspiración (Fig. 1). El Año 2 se caracterizó principalmente por las escasas precipitaciones durante todo el ciclo, las que totalizaron 233 mm. Si bien el cultivo recibió la aplicación de riego suplementario durante la floración (156 mm), este no alcanzó a satisfacer la demanda y en consecuencia se registro un déficit hídrico de 214 mm (Fig. 1).

Pérdidas por volatilización

Las pérdidas de N-NH₃ por volatilización se extendieron por un período de 7 y 18 días en el Año 1 y 2, respectivamente (Fig. 2). Se puede observar que en el Año 1, las pérdidas desde el tratamiento Urea fueron superiores respecto del Urea+NSN, dicho comportamiento fue similar para ambas dosis. Luego de la aplicación del fertilizante, se produjo una precipitación de 4,5 mm, la que permitió que se produzca la hidrólisis del fertilizante, pero no fue suficiente para incorporar la urea en el perfil del suelo, por lo que las pérdidas de N-NH₃ se incrementaron luego de este momento (Fig. 2).

En todos los momentos evaluados, como así también para las pérdidas totales acumuladas, se determinó interacción entre los factores de tratamiento (aditivos x dosis), esto fue debido a las escasas pérdidas por volatilización de N-NH₃ determinadas en el tratamiento 120 Urea+NSN (Fig. 3). Similar comportamiento fue observado cuando las pérdidas totales fueron expresadas como porcentaje del N aplicado. La aplicación de Urea presentó los mayores valores de pérdidas de N-NH₃, siendo las

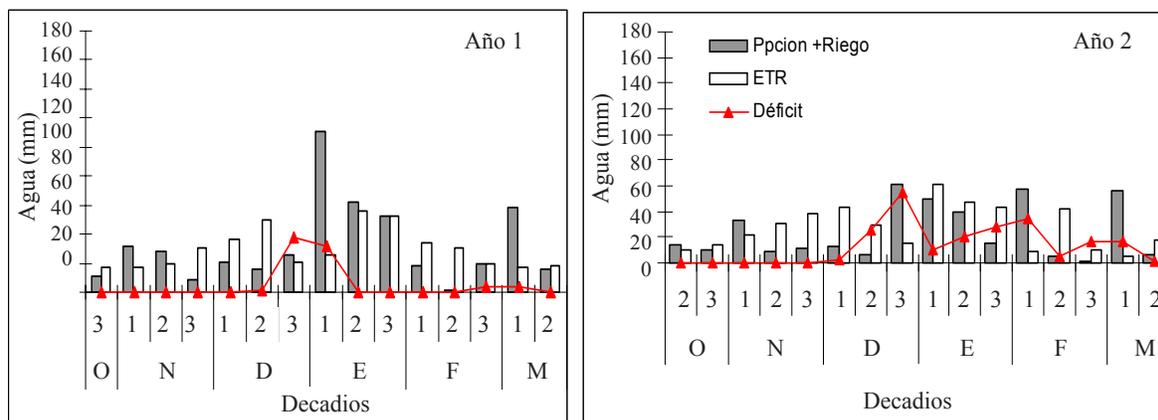


Figura 1. Balance de agua del cultivo de maíz bajo SD durante las estaciones de crecimiento 2004/5 (Año 1) y 2008/9 (Año 2). La línea de triángulos representa los momentos durante el ciclo del cultivo en donde se produjeron deficiencias hídricas (Della Magiora, com. pers.).

Figure 1. No till maize water balance in 2004/05 (Year 1) and 2008-09 (Year 2) growing seasons. Triangle line indicates water deficiency period (Della Magiora, com. pers.).

mismas del 3 y 10 % del N aplicado para las dosis de 60 y 120 kg N ha⁻¹, respectivamente. Las pérdidas desde los tratamientos Urea+NSN no superaron el 0,5% para ambas dosis. Estos resultados ponen de manifiesto que la utilización de inhibidores permite reducir las pérdidas de N-NH₃ por volatilización, similares resultados fueron reportados por Sainz Rozas *et al.* (1999) y Ferraris *et al.* (2009). Los valores de pérdida registrados desde el tratamiento Urea son similares a los reportados para la zona por Sainz Rozas *et al.* (1999), Barbieri *et al.* (2003) y Ferraris *et al.* (2009), e inferiores a los reportados por Rimski-Korsakov *et al.* (2007).

Como se mencionó, el Año 2 se caracterizó por escasas precipitaciones, lo que ocasionó que la tasa de hidrólisis de la urea sea baja hasta el tercer día de la fertilización cuando se produjo una precipitación de 13 mm lo que permitió la incorporación del N en el perfil del suelo y que las pérdidas de N por volatilización fueran de escasa magnitud (Fox *et al.*, 1986) (Fig. 2). No obstante, se determinó interacción entre dosis de N y presencia de aditivos desde el día 2 a 8 luego de la fertilización debido a las escasas pérdidas determinadas desde los tratamientos Urea+ NSN y nBTPT, respecto de Urea 120 kg de N ha⁻¹ el cual presentó la mayor tasa de pérdida (Fig. 2). Luego, desde el día 9 al 18, no se comprobaron diferencias entre presencia de aditivos y dosis de N y solamente se determinaron diferencias en las tasas de pérdidas de N-NH₃ cuando fue incluido en el análisis el tratamiento testigo. Al igual que en el Año 1, se encontró interacción entre los factores de tratamiento (aditivos x dosis) para las pérdidas totales expresadas en kg ha⁻¹ (Fig. 3). El tratamiento Urea 120 de N kg ha⁻¹ fue el tratamiento que

registró las mayores pérdidas de N por volatilización (Fig. 3). Las pérdidas totales expresadas en porcentaje para la dosis de 60 kg de N ha⁻¹ fueron de 2,3; 2,0 y 2,3% para Urea, Urea+NSN y Urea+nBTPT, respectivamente, mientras que para la dosis de 120 kg de N ha⁻¹ de 3,8, 2,1 y 1,5% para Urea, Urea+NSN y Urea+nBTPT, respectivamente. Estos valores de pérdida de N determinados en esta experiencia, son inferiores a los comúnmente informados para el sudeste bonaerense (Sainz Rozas *et al.*, 1999; Barbieri *et al.*, 2003) y serían principalmente debidos a la condición climática que se presentó en esta estación de crecimiento.

En ambas estaciones de crecimiento, las máximas tasas de pérdida se observaron a partir del tercer día después de la fertilización (Fig. 2), dichas pérdidas de N se corresponderían con los mayores valores de pH registrados en el suelo (Ferguson *et al.*, 1984). Las tasas de pérdida de N-NH₃ desde los tratamientos con la máxima dosis se relacionaron con la temperatura del suelo a 5 cm de profundidad (Fig. 4). En el Año 1, el incremento en la temperatura del suelo mostró una estrecha y positiva asociación con las pérdidas de N-NH₃ desde el tratamiento Urea ($p < 0,05$), mientras que para Urea+NSN dicha relación no fue significativa ($p > 0,33$). Esto estaría indicando que las pérdidas de N-NH₃ de estos tratamientos, serían independientes de la temperatura de suelo (Fig. 4). En el Año 2, si bien las pérdidas de N-NH₃ desde los tratamientos Urea y Urea+NSN se relacionaron en forma significativa ($p < 0,10$) con la temperatura del suelo a 5 cm de profundidad, la misma no mostró elevado grado de ajuste. Este comportamiento sería debido a que el proceso de volatilización fue limitado por la disponibilidad de agua.

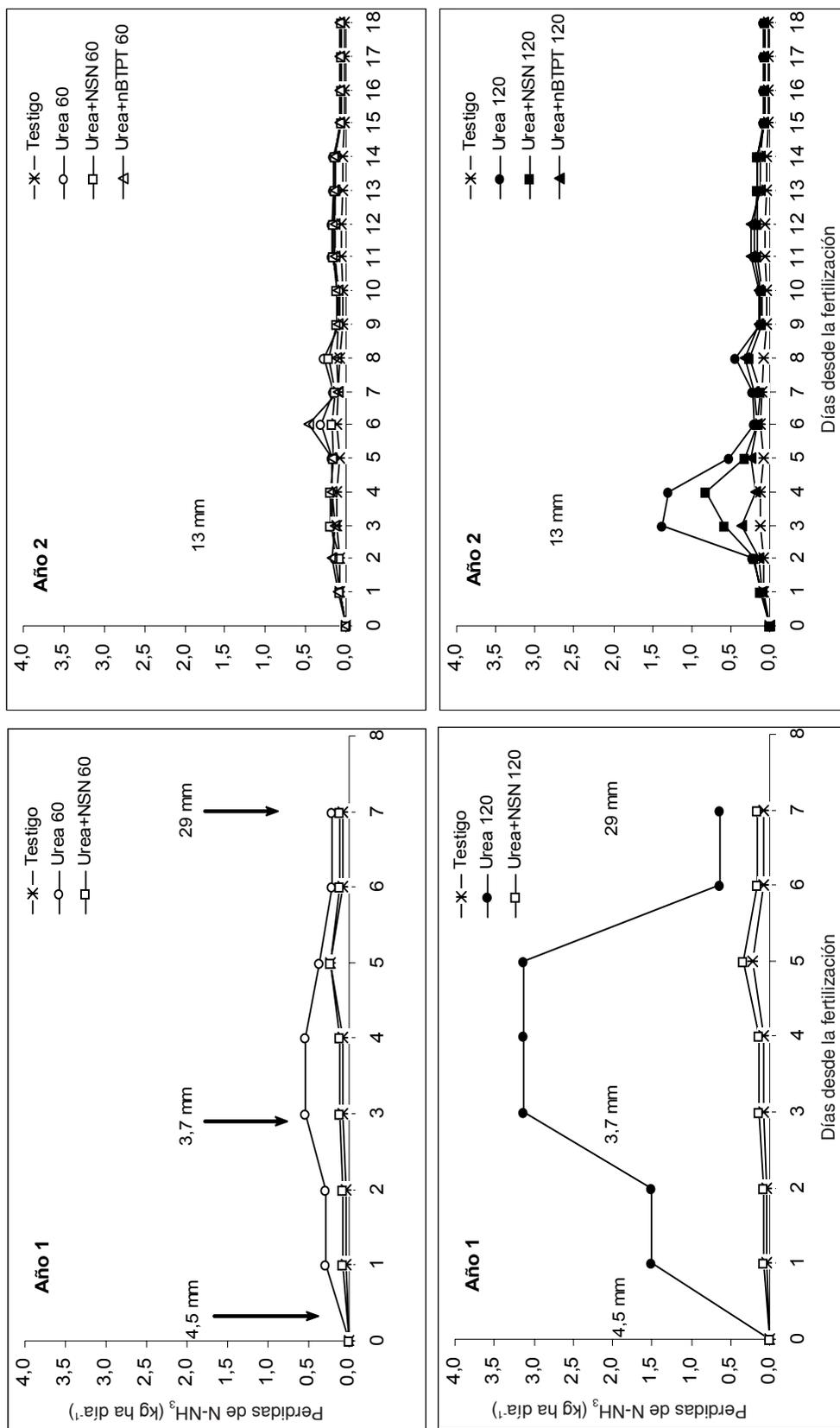


Figura 2. Evolución de las pérdidas por volatilización de N-NH₃ para el cultivo de maíz bajo SD durante las estaciones de crecimiento 2004/5 (Año 1) y 2008/9 (Año 2).
 Figure 2. Evolution of N-NH₃ volatilization losses for NT maize during 2004/05 (Year 1) and 2008/09 (Year 2) growing seasons.

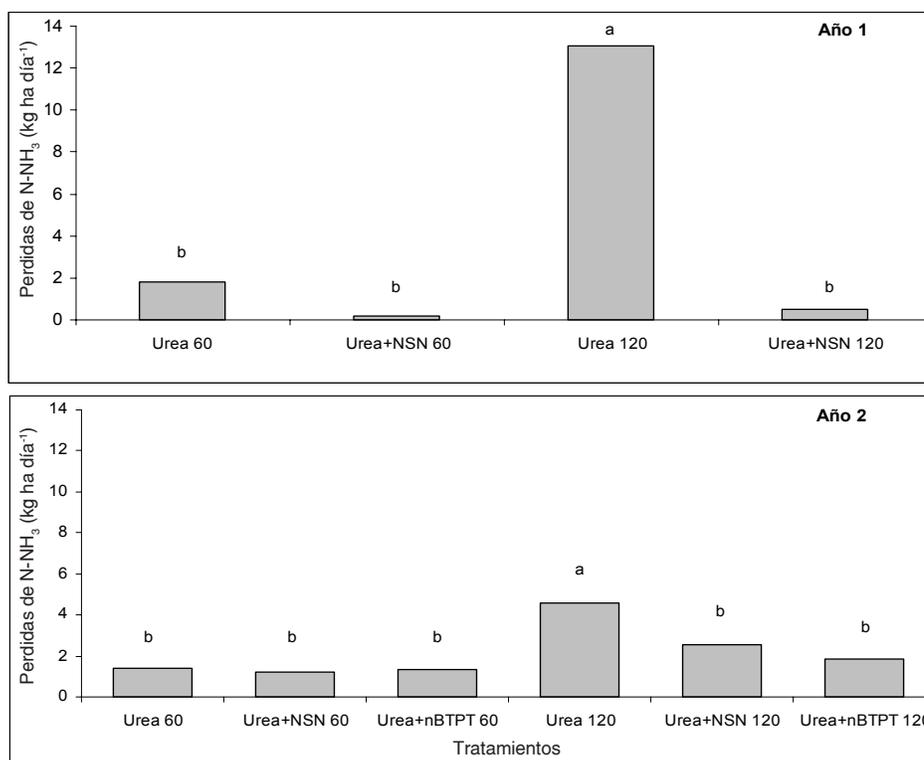


Figura 3. Pérdidas totales de N-NH₃ por volatilización desde el fertilizante en el cultivo de maíz bajo SD durante las estaciones de crecimiento 2004/5 (Año 1) y 2008/9 (Año 2). Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).
 Figure 3. Total N-NH₃ volatilization losses from applied fertilizer for NT maize during 2004/05 (Year 1) and 2008/09 (Year 2) growing seasons. Different letter indicate significant differences ($p < 0,05$).

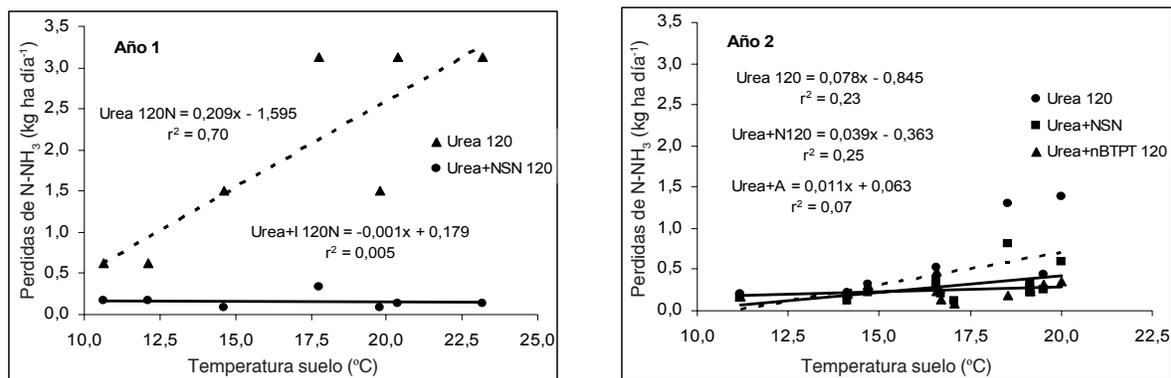


Figura 4. Relación entre las tasas de pérdida de NH₃ y la temperatura de suelo (5 cm) durante las estaciones de crecimiento 2004/5 (Año 1) y 2008/9 (Año 2).

Figure 4. Relationship between N-NH₃ losses rates and soil temperature (5 cm) during 2004/05 (Year 1) and 2008/09 (Year 2) growing seasons.

Rendimiento

En el Año 1, el rendimiento del cultivo no fue afectado significativamente por la dosis de N ni por la presencia de NSN (Tabla 2). La utilización del mismo no incre-

mentó significativamente el rendimiento, probablemente porque las pérdidas de NH₃ desde el tratamiento Urea no fueron de gran magnitud (Fig. 2), resultados que coinciden con lo informado por Sainz Rozas *et al.* (1999)

para cultivos de maíz bajo SD. Cuando se evaluó la respuesta en rendimiento a la aplicación de N teniendo en cuenta el tratamiento testigo (Tabla 2), contrariamente a lo esperado en función del bajo N disponible inicial (Tabla 1), tampoco se determinaron diferencias significativas entre las dosis de N. La respuesta promedio a la aplicación de N, respecto del testigo, fue del 6,4 y 13,5% para la dosis de 60 y 120 kg de N ha⁻¹, respectivamente. El elevado rendimiento observado en el tratamiento testigo determinó escasa respuesta a la fertilización con N y sería debida a que el N aportado por mineralización desde el suelo fue elevado dado que el cultivo antecesor fue soja.

En el Año 2, el rendimiento del cultivo no fue afectado por la dosis ni por los aditivos (Tabla 3). Las bajas pérdidas por volatilización registradas en este año (< al 4%) contribuyen a explicar la falta de respuesta a los aditivos. Cuando el tratamiento testigo fue incluido en los análisis tampoco se determinaron respuestas significativas (Tabla 3). La respuesta promedio a la aplicación de N, respecto del testigo, fue del 9,4 y 12,7% para la dosis de 60

y 120 kg de N ha⁻¹, respectivamente. La escasa respuesta a la aplicación de N, fue debido a que la disponibilidad de N al estadio de V6 (30 cm) fue de 13 ppm concentración con la cual, en condiciones de secano, es posible alcanzar rendimientos próximos a los obtenidos (alrededor de 7.000 kg ha⁻¹) (Echeverría & Sainz Rozas, 2005). Si bien el ensayo recibió la aplicación de riego suplementario los mismos no fueron suficientes para que el cultivo expresara su potencialidad debido a las características particulares de esta campaña.

La falta de respuesta en rendimiento por el agregado de NSN y de nBTPT coinciden con lo informado por Sainz Rozas *et al.* (1999) y Ferraris *et al.* (2009) para cultivos de maíz bajo SD, Cahill *et al.* (2007) en suelos de diferente textura, Nelson *et al.* (2009) para diferentes regimenes hídricos y Noellsch *et al.* (2009) para las posiciones en el relieve de loma y media loma. No obstante, existen algunos reportes que indican incrementos en rendimiento por el uso de urea con aditivos (Schwab *et al.*, 2002; Brown, 2005, 2006).

Tabla 2. Rendimiento, contenido de N en grano, eficiencia de uso de N y sus componentes (EF y ER) del cultivo de maíz bajo SD durante la estación de crecimiento 2004/5 (Año 1).

Table 2. Yield, grain N content, N use efficiency and it component (EF and RE) in corn under NT Turing 2004/05 growing seasons (Year 1).

		Año 1				
Tratamientos	Dosis de N	Rendimiento	N en grano	EF	ER	EUN
		kg ha ⁻¹				
Urea	60	10.230	121,9	72,8	0,44	30,6
	120	10.967	148,3	63,9	0,44	27,6
Urea+NSN	60	10.554	125,6	72,7	0,50	35,3
	120	11.189	147,5	65,4	0,43	28,0
Prom. Urea	Urea	10.599 a	135,1 a	68,3 a	0,44 a	29,1 a
	Urea+NSN	10.872 a	136,6 a	69,1 a	0,47 a	31,7 a
Prom. dosis	60	10.392 a	123,7 b	72,3 a	0,47 a	32,9 a
	120	11.078 a	147,9 a	64,6 b	0,44 a	27,8 a
Análisis de la Varianza para la presencia de aditivo y dosis						
A		ns	ns	ns	ns	ns
N		ns	*	*	ns	ns
A*N		ns	ns	ns	ns	ns
Análisis de la Varianza de dosis de N incluyendo el testigo						
Testigo		9.764 a	95,7 b	-	-	-
60		10.392 a	123,7 ab	-	-	-
120		11.078 a	147,9 a	-	-	-

**, * Diferencias significativas al 1 y 5 de probabilidad, respectivamente. Valores con distinta letra indican diferencias significativa al 5% de probabilidad según el test de MDS.

**, * Significant differences at 1 and 5 of probability, respectively. Values with different letter indicates significant differences at 5% of probability using LSD test.

Tabla 3. Rendimiento, contenido de N en grano, eficiencia de uso de N y sus componentes (EF y ER) del cultivo de maíz bajo SD durante la estación de crecimiento 2008/9 (Año 2).

Table 3. Yield, grain N content, N use efficiency and its component (EF and RE) in NT corn Turing 2004/05 growing seasons (Year 2).

		Año 2				
Tratamientos	Dosis de N	Rendimiento	N en grano	EF	ER	EUN
		kg ha ⁻¹				
Urea	60	7.581	102,5	63,5	0,31	19,7
	120	8.518	128,7	57,0	0,31	17,8
Urea+NSN	60	8.284	111,7	63,6	0,35	22,3
	120	7.699	114,5	57,8	0,25	14,7
Urea+nBTPT	60	7.618	100,2	65,2	0,36	23,4
	120	7.956	117,3	58,3	0,28	16,2
Prom. Urea	Urea	8.049 a	115,7 a	60,3 a	0,31 a	18,7 a
	Urea+NSN	7.992 a	113,2 a	60,7 a	0,30 a	18,5 a
	Urea+nBTPT	7.787 a	108,7 a	61,8 a	0,32 a	19,8 a
Prom dosis	60	7.828 a	104,9 b	64,1 a	0,34 a	21,8 a
	120	8.059 a	120,1 a	57,7 b	0,28 a	16,2 a
Análisis de la Varianza para la presencia de aditivo y dosis						
A		ns	ns	ns	ns	ns
N		ns	*	*	ns	ns
A*N		ns	ns	ns	ns	ns
Análisis de la Varianza de dosis de N incluyendo el testigo						
Testigo		7.153 a	84,3 b	-	-	-
60		7.828 a	105,0 a	-	-	-
120		8.058 a	120,3 a	-	-	-

**, * , Diferencias significativas al 1 y 5% de probabilidad, respectivamente. Valores con distinta letra indican diferencias significativas al 5% de probabilidad según el test de MDS.

**, * Significant differences at 1 and 5 of probability, respectively. Values with different letter indicates significant differences at 5% of probability using LSD test.

Contenido de N en grano, eficiencia de uso de N

En ambos años, el contenido de N en grano se incrementó con la dosis de N, los tratamientos testigos y fertilizados con la máxima dosis fueron los que presentaron el menor y mayor contenido, respectivamente (Tablas 2 y 3). La utilización de aditivos no incrementó significativamente el contenido de N en grano (Tablas 2 y 3). Similares resultados fueron informados por Randall & Vetsch (2003, 2004), Cahill *et al.* (2007) y Nelson *et al.* (2009). Sin embargo, Noellsch *et al.* (2009) determinaron incrementos en el N acumulado para la posición más baja del relieve en donde se encuentran suelos con mayor potencial de pérdida de N.

La EUN, como así también sus componentes: EF y ER no fueron afectadas por la presencia de NSN y nBTPT.

Por otra parte y de acuerdo a lo esperado (Fageria & Baligar 2005), el incremento en la dosis de N disminuyó estas variables (Tablas 2 y 3). La falta de efecto por el uso de dichos productos sobre la EUN también fueron informados por Cahill *et al.* (2007), Paniagua (2006), Nelson *et al.* (2009) y Noellsch *et al.* (2009). Sin embargo, en ambos años a pesar de no haber diferencias significativas por efecto de los aditivos, estos mostraron una mejora en EUN respecto de Urea. En promedio para ambas dosis las mejoras en la EUN fueron del 9 y 2% para el Año 1 y 2, respectivamente. En el Año 1 la mejora en la EUN por efecto del aditivo sería consecuencia principalmente de la mayor ER (7%) debido en parte, a las menores pérdidas por volatilización desde estos tratamientos respecto de Urea, mientras que en el Año 2 no se registraron incrementos en la ER debido a las escasas pérdidas.

CONCLUSIONES

Para las condiciones de este experimento, se determinó que las pérdidas por volatilización de N-NH₃ fueron mayores desde Urea respecto de Urea con NSN y NBTPT. No obstante no se incrementó el rendimiento, contenido de N en grano ni la EUN del cultivo de maíz bajo SD, por el uso de dichos productos. Por lo tanto, para esta condición con escasas pérdidas de N por volatilización, se determinaron pequeñas ventajas por el empleo de Urea tratada con NSN y NBTPT. En situaciones en donde las pérdidas de N fueran mayores, el uso de estos productos presentaría mayores ventajas respecto de la Urea.

AGRADECIMIENTO

Trabajo realizado con fondos de los proyectos de INTA AERN 295561, de la UNMP AGR261/08 y del Convenio INTA-Profertil SA.

BIBLIOGRAFÍA

- Barbieri, PA; HE Echeverría & HR Sainz Rozas. 2003. Respuesta del cultivo de maíz bajo siembra directa a la fuente y al método de aplicación de nitrógeno. *Ciencia del Suelo* 21: 18-23.
- Brown, B. 2005. Slow release N for enhancing irrigated hard wheat protein [Online]. Available: <http://www.ag.uidaho.edu/SWIdaho/Nutrient%20Management/Wheat%20Protein/0534Agrimreport.pdf> (verified 15 Nov. 2006).
- Brown, B. 2006. Slow release N for enhancing irrigated hard wheat protein [Online]. Available: <http://www.ag.uidaho.edu/SWIdaho/Nutrient%20Management/Wheat%20Protein/0634Agrimreport.pdf> (verified 14 Nov. 2006).
- Cahill, S; D Osmond; C Crozier; D Israel, & R Weisz. 2007. Winter Wheat and Maize Response to Urea Ammonium Nitrate and a New Urea Formaldehyde Polymer Fertilizer. *Agron. J.* 99: 1645-1653.
- Cassman, KG; A Dobermann & DT Walters. 2002. Agroecosystems, nitrogen use efficiency, and nitrogen management. *Ambio.* 31: 132-140.
- Echeverría, HE & HR Sainz Rozas. 2005. Nitrógeno. In: HE Echeverría y FO García (eds.). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Ediciones INTA. P. 69-97.
- Fageria, NK & VC Baligar. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Adv. in Agron.* 88: 97-185.
- Fenn, LB & DE Kiesel. 1974. Ammonia volatilization from surface applications of ammonia compounds on calcareous soil: II. Effects of temperature and rate of ammonium nitrogen applications. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38: 606-610.
- Ferraris GN; LA Couretot & M Toribio. 2009. Pérdidas de nitrógeno por volatilización y su implicancia en el rendimiento del cultivo de maíz: Efectos de fuente, dosis y uso de inhibidores. *Informaciones Agronómicas* 43: 19-22.
- Ferguson, RB; DE Kiessel; JK Koelliker & W Basel. 1984. Ammonia volatilization from surface-applied urea: Effect of hydrogen ion buffering capacity. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 2: 578-585.
- Fontaneto, H; H Vivas; O Kéller & J Romera. 2002. Evaluación de la volatilización de amoníaco desde diferentes fuentes nitrogenadas en soja con siembra directa. II Congreso Brasileiro de Soja. Mercosoja 2002. Resumos: 229.
- Fox, RH; JM Kern & WP Piekielek. 1986. Nitrogen fertilizer source, and method and time of application effects on no-till corn yield and nitrogen uptake. *Agron. J.* 78: 741-746.
- Fox, RH & WP Piekielek. 1993. Management and urease inhibitor effect on nitrogen use efficiency in no-till corn. *J. Prod. Agr.* 6: 195-200.
- García, FO; KP Fabrizzi; LI Picone & JF Justel. 1999. Volatilización de amonio a partir de fertilizantes nitrogenados aplicados superficialmente bajo siembra directa y labranza convencional en Argentina. XIV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Pucón. Actas en CD.
- Harper, L; R Shape; G Langdale & J Giddens. 1987. Nitrogen cycling in a wheat crop: soil, plant, and herbagenitrogen transport. *Agron. J.* 79: 965-973.
- Keeney DR & DW Nelson. 1982. Nitrogen - inorganic forms. p. 643-687. In: A.L. Page, *et al.* (ed.). Methods of Soil Analysis: Part 2. Agronomy Monogr. 9. 2nd ed. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Keeney, DR & WD Nelson. 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).
- Kiessel, DE & ML Cabrera. 1988. Factor affecting urea hydrolysis. In: 'Ammonia volatilization from urea fertilizers'. (eds. BR Bock, DE Kiessel) pp. 53-66. (National Fertilizer Development Center, TVA: Muscle Shoals).
- LECO. 2009. Organic application notes. Disponible en <http://www.leco.com/>, verificado 18/02/2009.
- Nelson, KA; SM Paniagua & PP Motavalli. 2009. Effect of polymer coated urea, irrigation, and drainage on nitrogen utilization and yield of corn in a claypan soil. *Agron. J.* 101: 681-687.
- Noellsch, JJ; PP Motavalli; KA Nelson & NR Kitchen. 2009. Corn Response to Conventional and Slow-Release Nitrogen Fertilizers across a Claypan Landscape. *Agron. J.* 101: 607-614.
- Nommik, H. 1973. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest soil. *Plant Soil.* 39: 309-318.
- Pagani, A; HE Echeverría; HR Sainz Rozas & PA Barbieri. 2008. Dosis óptima económica de nitrógeno en maíz bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo.*
- Paniagua, SM. 2006. Use of slow-release n fertilizer to control nitrogen losses due to spatial and climatic differences in soil moisture conditions and drainage in claypan soils. Tesis Ms Sc University of Missouri, Columbia. 98 pp.
- Radwan, MA & DS Debell. 1989. Effects of different urea fertilizers on soil and trees in a young thinned stand of western hemlock. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 941-946.
- Randall, GW & JA Vetsch. 2003. Controlled release urea as a nitrogen source for corn in southern Minnesota. Available: <http://sroc.coafes.umn.edu/Soils/2003%20Research%20Resultscontrolled%20release%20304.pdf> (verified 14 Nov. 2006).

- Randall, GW & JA Vetsch. 2004. ESN as a nitrogen source for corn in southern Minnesota. Available: <http://sroc.coafes.umn.edu/Soils/2004%20Research%20Results/ESN%20105.pdf> (verified 14 Nov. 2006).
- Randall, GW & J Sawyer. 2006. Nitrogen application timing, forms, and additives. Available at http://www.epa.gov/msbasin/pdf/symposia_ja_session6.pdf [accessed 14 Nov. 2006; verified 23 Mar. 2009]. USEPA, Washington, DC.
- Rimski-Korsakov, H; G Rubio & RS Lavado. 2007. Pérdidas por volatilización de amoníaco en cultivos de maíz fertilizado con nitrógeno. *En: MA Lazzari; C Videla (eds.). Isótopos estables en agroecosistemas*. Editorial de la Universidad Nacional de Sur pp: 53-57.
- Ritchie, SW & JJ Hanway. 1982. How a corn plant develops. *Iowa State Univ. Coop. Ext. Serv. Spec. Rep.* 48.
- Sainz Rozas, HR; HE Echeverría; GA Studdert & FH Andrade. 1999. No-tillage corn nitrogen uptake and yield: effect of urease inhibitor and application time. *Agron. J.* 91: 950-955.
- Sainz Rozas, HR; HE Echeverría & PA Barbieri. 2004. Nitrogen balance as affected by application time and nitrogen fertilizer rate in irrigated no-tillage maize. *Agron. J.* 96: 1622-1631.
- SAS. Institute Inc. 1985. User's guide. Statistics. Version 5. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA.
- Schwab, GJ; LW Murdock; J Dollarhide; J James & D Call. 2002. Polymer coated urea affects on wheat yield [Online]. Available at <http://www.ca.uky.edu/ukrec/RR%202002-03/02-03pg33.pdf> (verified 14 Nov. 2006).
- Uhart, SA & FH Andrade. 1995. Nitrogen deficiency and maize: Effects on crop growth, development, dry matter partitioning and kernel set. *Crop Sci.* 35: 1376-1383.
- Watson, CJ; H Miller; P Poland; DJ Kilpatrick; MDB Allen; MK Garrett & CB Christianson. 1994. Soil properties and the ability of the urease inhibitor N-(n-Butyl) thiophosphoric triamide (nBPTP) to reduce ammonia volatilization from surface-applied urea. *Soil. Biol. Biochem.* 9: 1165-1169.