

RESPUESTA DEL CULTIVO DE MAIZ BAJO SIEMBRA DIRECTA A LA FUENTE Y AL METODO DE APLICACION DE NITROGENO

PA BARBIERI^{1,3}, HE ECHEVERRÍA^{2,3}, HR SAINZ ROZAS³

¹Becario CIC, ²EEA INTA Balcarce, ³ FCA UNMP. Laboratorio de suelos C.C. 276. (7620) Balcarce-Argentina. E-mail: barpaband@yahoo.com.

Recibido 9 de diciembre de 2002, aceptado 9 de abril de 2003

RESPONSE OF CORN UNDER NO-TILLAGE TO NITROGEN SOURCE AND PLACEMENT METHOD

Nitrogen fertilization is a common practice in no-tillage (NT) corn. However, when fertilizers like urea are broadcasted on soil surface, volatilization losses could decrease crop nitrogen availability. Two experiments were carried out at INTA Experimental Station, Balcarce, Argentina (37°45' S; 58°18' W), during 1998/99 and 1999/00 growing seasons. In 1998/99 treatments were: 1) without nitrogen, 2) urea broadcasted, 3) calcareous ammonium nitrate (CAN) broadcasted and 4) urea incorporated (4 cm). In 1999/00 the same treatments were evaluated except CAN. Nitrogen rate (70 kg N ha⁻¹) was applied at six leaves corn growing stage (V6). In both years volatilization losses, chlorophyll content at flowering, aboveground biomass, accumulated nitrogen and grain yield at physiological maturity were evaluated. Both years, volatilization losses from broadcasted urea were not higher than 7% of applied nitrogen. Volatilization losses from incorporated urea were lower than 0,1%. Averaged through the years, grain yield was significantly increased by nitrogen fertilization (7480 and 9980 kg ha⁻¹, control versus fertilizer treatments, respectively), but it was not different between nitrogen source or placement methods. Chlorophyll content was increased by nitrogen fertilization in both years, regardless of nitrogen source or placement methods. Nitrogen recovery (kg N uptake from fertilizer/kg N applied) as determined by difference method was not different between CAN and urea incorporated (0,90, average years) and this value was greater than broadcasted urea (0,75, average years). There were no differences in nitrogen use efficiency (kg grain/kg N applied) between urea placement methods or nitrogen sources, because physiological efficiency was greater for urea broadcasted than incorporated urea or CAN. Therefore, the incorporation of urea below residues would not be advantageous practice for Balcarce area, because volatilization losses were not high under these conditions.

Key words: Nitrogen placement, no tillage, corn, ammonia volatilization, urea.

INTRODUCCION

El uso de labranzas conservacionistas y en particular la siembra directa (SD) producen una serie de cambios en el ambiente edáfico, siendo el más relevante, la menor disponibilidad de nitrógeno mineral durante los primeros años de su implementación (Fox, Bandel 1986). Por lo tanto, la fertilización nitrogenada con dosis mayores es una práctica necesaria para la obtención de similares rendimientos que bajo labranza convencional (Dominguez *et al.* 2000), por lo menos durante los primeros años de implementada dicha técnica.

Bajo SD las aplicaciones de urea son frecuentemente realizadas en superficie, como consecuencia de la falta de maquinaria que permita su colocación debajo de los residuos o por cuestiones operativas. De esta manera,

pérdidas significativas de nitrógeno se pueden producir debido a la volatilización de amoníaco (Keller, Mengel 1986; Fox, Piekielek 1993).

En la zona de Rafaela, Provincia de Santa Fé, se han determinado pérdidas de nitrógeno por volatilización desde urea aplicada en superficie en SD, de hasta el 40% en cultivos estivales (Fontanetto *et al.* 2002). Por el contrario, la magnitud de dichas pérdidas no superó el 15 % en una dosis tan elevada como 210 kg de nitrógeno ha⁻¹ en el SE Bonaerense (Sainz Rozas *et al.* 1997). La menor temperatura y la mayor capacidad de intercambio catiónico de los suelos del SE Bonaerense explicarían los resultados obtenidos.

Como consecuencia de las pérdidas de NH₃ desde la urea, se ha propuesto el empleo de otros fertilizantes nitrogenados que se caracterizan por presentar pérdidas por volati-

lización de escasa magnitud, como el nitrato de amonio y nitrato amónico calcáreo (Fox *et al.* 1983; García *et al.* 1999). La utilización de productos que retarden o inhiban la hidrólisis de la urea han demostrado ser un método eficiente para reducir las pérdidas por volatilización de amoníaco desde el fertilizante (Watson *et al.* 1994; Sainz Rozas *et al.* 1999)

Por otra parte, una práctica de manejo eficiente para reducir las pérdidas por volatilización es la de colocar la urea por debajo de los rastros como una alternativa para mejorar la eficiencia de utilización del nitrógeno (Bandel *et al.* 1980; Fox *et al.* 1986; Howar, Tayler 1989; Steker *et al.* 1993). Sin embargo, dada la magnitud de las pérdidas por volatilización observadas en el SE Bonaerense, particularmente para dosis menores a 100 kg de nitrógeno ha⁻¹ (Sainz Rozas *et al.* 1997), la mejora en la eficiencia de uso del nitrógeno cuando la urea es incorporada, respecto de la misma en superficie, no sería relevante.

Dada la escasa información acerca de la respuesta del cultivo de maíz cuando la urea es aplicada en superficie o incorporada debajo de los residuos, se plantea como objetivo de este experimento determinar las pérdidas por volatilización y la respuesta en rendimiento, en función del método de aplicación del fertilizante y del uso de distintas fuentes de nitrógeno.

MATERIALES Y METODOS

Los experimentos fueron realizados en la EEA INTA-Balcarce, durante las campañas 1998/99 y 1999/00, sobre cultivos de maíz bajo SD, con una cobertura de rastrojo del 90%. El suelo es un Paleudol Petrocálcico serie Balcarce, con un contenido de materia orgánica de 5,9%, un contenido de fósforo disponible de 17,2 mg kg⁻¹ y un pH de 5,9 (1:2,5 suelo/agua), en los primeros 20 cm del perfil. El mismo presentaba al momento de la siembra un contenido de nitrógeno mineral de 43 y 56 kg ha⁻¹ hasta los 60 cm de profundidad, para las estaciones de crecimiento 1998/99 y 1999/00, respectivamente.

El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. Los tratamientos evaluados en 1998/99 fueron: 1) testigo sin aplicación de nitrógeno, 2) urea aplicada en superficie, 3) nitrato de amonio calcáreo (CAN) aplicado en superficie y 4) urea incorporada (4 cm de profundidad). En 1999/00 los tratamientos evaluados fueron los mismos a excepción del CAN. Las

dosis de nitrógeno fueron de 70 kg ha⁻¹ aplicadas al estado vegetativo de seis hojas (V6) (Ritchie, Hanway 1982). El híbrido utilizado fue Dekalb 639, las malezas e insectos fueron controlados adecuadamente. Cuando la disponibilidad hídrica hasta los 60 cm fue inferior al 50% de la capacidad de retención de agua del suelo, se efectuaron riegos por aspersión de aproximadamente 30 mm. De esta manera, en ninguna de las campañas se registraron déficits hídricos en el cultivo. Las unidades experimentales fueron de siete surcos de ancho por 14 m de longitud

Se evaluaron las pérdidas por volatilización mediante un sistema de absorción semiabierto estático, adaptado del propuesto por Nommik (1973) y utilizado para suelos de la zona por Videla (1994). Las determinaciones de amoníaco volatilizado se realizaron desde la aplicación del fertilizante, hasta la ocurrencia de una precipitación superior a 20 mm. Durante la floración del cultivo se evaluó el contenido de nitrógeno de los diferentes tratamientos mediante el uso del medidor de clorofila Minolta SPAD-502. En madurez fisiológica del cultivo se determinó la materia seca total acumulada y el nitrógeno orgánico total acumulado. Esto se realizó mediante digestión tipo Kjeldhal (ácido sulfúrico sin ácido salicílico) según Nelson y Sommer (1973). Para la determinación del rendimiento se cosecharon tres surcos de 7,15 m de largo de cada unidad experimental, ajustándose el mismo al 14% de humedad.

Se realizó el cálculo de la eficiencia de utilización del nitrógeno del fertilizante (EUN) como el producto de la eficiencia fisiológica (EF) [incremento de rendimiento en grano (kg)/ N absorbido desde el fertilizante (kg)] y la eficiencia de recuperación (ER) [N absorbido desde el 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 nitrógeno proveniente del fertilizante fue calculado como la diferencia entre el nitrógeno 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 Statical Analysis Systems (SAS Institute Inc 1985) Las diferencias entre medias de tratamiento fueron comparadas usando el test de diferencias mínimas significativas.

RESULTADOS Y DISCUSION

En ambos años, se registraron escasas precipitaciones con posterioridad a la aplicación de nitrógeno. Por lo tanto, se produjeron condiciones como para que el fertilizante permanezca en la superficie del suelo y, en conse-

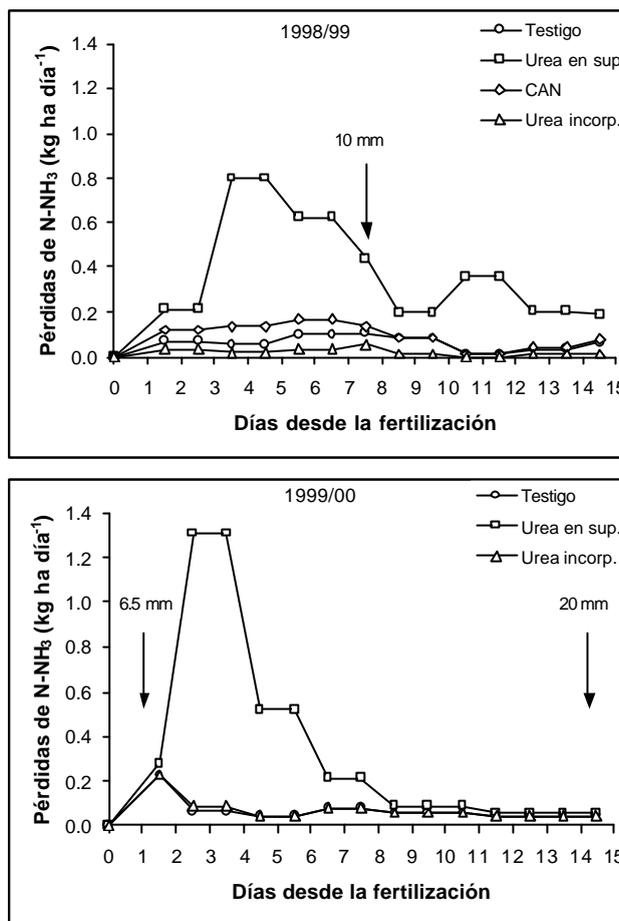


Figura 1. Tasa diaria de pérdida por volatilización de amoníaco desde los diferentes tratamientos.
Figure 1. Daily rate of ammonia volatilization losses from differnts treatment.

cuencia, se puedan producir pérdidas por volatilización (Hargrove, 1988; Bouwmeester *et al.* 1985). En ambos años, las pérdidas de amoníaco desde el tratamiento urea en superficie fueron mayores ($P < 0,05$) respecto de los demás tratamientos, durante todo el período experimental (Figura 1). Las máximas tasas de pérdidas se observaron en los primeros tres o cuatro días después de la fertilización (Figura 1), coincidiendo con lo informado por Sainz Rozas *et al.* (1997). Dichas pérdidas de nitrógeno se corresponderían con los mayores valores de pH registrados en el suelo, luego del segundo o tercer día después de la aplicación del fertilizante (Ferguson *et al.* 1984). En 1998/99, durante todo el período experimental el tratamiento CAN no difirió del testigo ($P > 0,05$), comportamiento similar al observado para el tratamiento urea incorporada en ambos años.

A pesar de las mayores pérdidas observadas desde el tratamiento urea en superficie, las mismas fueron solo del 6,5 y 5,6% del nitrógeno aplicado para las campañas 1998/99 y 1999/00, respectivamente. Dichos valores son similares a los informados por Sainz Rozas *et al.* (1997) y podría deberse a la elevada capacidad buffer de los suelos del área. En 1998/99 las pérdidas por volatilización desde CAN alcanzaron valores inferiores al 1% del nitrógeno aplicado. Cuando la urea fue incorporada, las pérdidas por volatilización fueron inferiores al 0,1%, siendo esta una práctica eficiente para reducir dichas pérdidas, cuando se utilizan fertilizantes que contienen urea en su formulación.

El contenido de clorofila determinado en floración mostró un comportamiento similar en ambos años, esto es, se observaron dife-

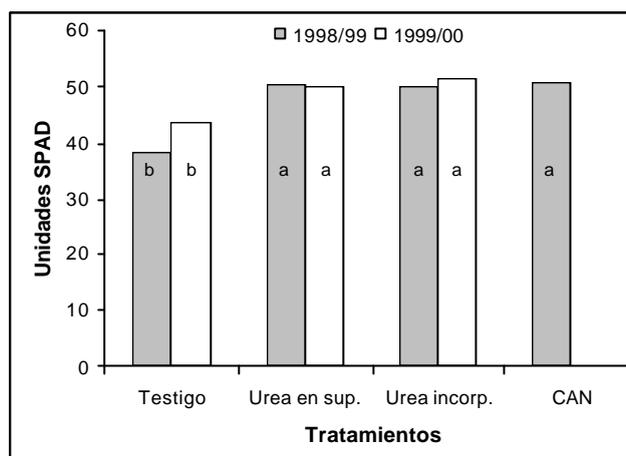


Figura 2. Contenido de clorofila durante la floración para los diferentes tratamientos evaluados. Para cada año, columnas con diferentes letras son significativamente diferentes ($P < 0,05$).

Figure 2. Chlorophyll content at flowering from different treatments. In each year, columns with different letter are significantly different ($P < 0,05$).

rencias ($P < 0,05$) entre el tratamiento testigo y los fertilizados. Sin embargo, no se observaron diferencias entre fuentes ni métodos de aplicación lo que pone de manifiesto el fuerte estrés de nitrógeno en este sistema de cultivo. (Figura 2).

La biomasa aérea en madurez fisiológica (Figura 3) y el rendimiento del cultivo (Tabla 1) del tratamiento testigo fue menor ($P < 0,05$) que la de los demás tratamientos. Esto sería debido a una mayor intercepción de la radiación incidente fotosintéticamente activa en los

tratamientos fertilizados con nitrógeno (Uhart, Andrade, 1995). Sin embargo, no se observaron diferencias para ambas variables ($P > 0,05$) entre los diferentes métodos de colocación y/o fuentes de nitrógeno, comportamiento que coincide con lo observado en el contenido de clorofila en hoja.

La eficiencia fisiológica, fue similar para los tratamientos fertilizados ($P > 0,05$) (Tabla 1). En 1998/99, la eficiencia de recuperación del fertilizante fue similar para los tratamientos CAN y urea incorporada, mientras que dichos

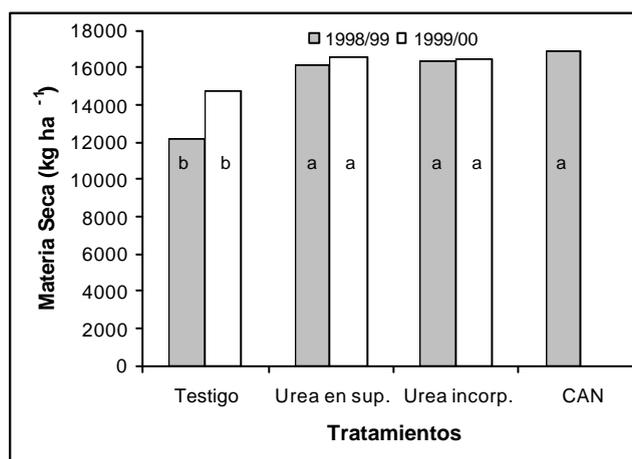


Figura 3. Materia seca acumulada en madurez fisiológica para los diferentes tratamientos. Para cada año, columnas con diferentes letras son significativamente diferentes ($P < 0,05$).

Figure 3. Dry matter at physiological maturity from different treatment. In each year, columns with different letter are significantly different ($P < 0,05$).

Tabla 1 Eficiencia fisiológica, eficiencia de recuperación y eficiencia de uso de nitrógeno por el cultivo de maíz bajo SD en función del método de aplicación de N para las estaciones de crecimiento 1998/99 y 1999/00

Table 1. Physiological efficiency, recovery efficiency, and nitrogen use efficiency in corn under no-tillage as affected by nitrogen application method in 1998/99 and 1999/00

Año	Tratamientos	Dosis de N	Rendimiento en grano	N planta	Eficiencia fisiológica	Eficiencia de recuperación	Eficiencia Agronómica
		-----Kg ha ⁻¹ -----	Kg ha ⁻¹	Kg N ha ⁻¹	Kg grano	kg N absorbido desde el fertilizante	Kg grano
					kg N absorbido del fertilizante ⁻¹	kg de N del fertilizante ⁻¹	kg N del fertilizante ⁻¹
1998/99	Testigo	0	5862,6 b	72,8 c		-	-
	Urea en sup.	70	8738,4 a	123,6 b	56,6 b	0,73 b	41,0 a
	CAN	70	9203,3 a	135,5 a	50,0 b	0,89 a	47,6 a
	Urea inc.	70	9260,0 a	138,1 a	47,9 b	0,93 a	48,4 a
1999/00	Testigo	0	9098,0 b	90,5 b		-	-
	Urea en sup.	70	11186,0 a	144,7 a	38,5 b	0,77 b	29,6 a
	Urea inc.	70	11514,0 a	152,6 a	38,9 b	0,88 a	34,2 a

Valores dentro de una columna seguidos por diferentes letras son significativamente diferentes ($P < 0,05$).

Values with in columns following with different letter are significantly different ($P < 0,05$).

tratamientos mostraron una mayor recuperación respecto del tratamiento urea en superficie ($P < 0,05$) (Tabla 1). Esto podría ser como consecuencia de que las pérdidas por volatilización fueron similares para urea incorporada y CAN, y menores respecto del tratamiento urea en superficie. Para 1999/00, se observó que la eficiencia de recuperación del fertilizante aplicado fue superior en el tratamiento urea incorporada respecto del tratamiento urea en superficie ($P < 0,05$) (Tabla 1). Sin embargo, en ambos años, la eficiencia agronómica (producto entre la eficiencia fisiológica y de recuperación) fue similar entre los diferentes tratamientos ($P > 0,05$). Esto sería debido a que el tratamiento urea en superficie compenso la eficiencia de recuperación del fertilizante aplicado con una mayor eficiencia fisiológica (Tabla 1).

Las cantidades de nitrógeno no recuperado en planta por el tratamiento urea en superficie coinciden con las reportadas por Sainz Rozas (2001) para similar dosis de nitrógeno y sistema de labranza, e indicarían que cuando la aplicación de nitrógeno en el cultivo de maíz bajo SD es realizada en V6, las pérdidas de nitrógeno desde el sistema no son relevantes. En dicha experiencia, el principal destino del nitrógeno no recuperado fue la biomasa microbiana y en menor medida las pérdidas por desnitrificación.

Si bien la aplicación por debajo de los rastros es más eficiente en el uso del nitrógeno

no, la magnitud de la diferencia entre métodos de aplicación es escasa como consecuencia de que las pérdidas por volatilización desde el tratamiento urea en superficie no fueron de gran magnitud. Considerando los mayores costos que implica la utilización de dicha práctica, junto con el mayor tiempo operativo requerido, probablemente la aplicación en superficie constituya la mejor alternativa desde el punto de vista práctico.

BIBLIOGRAFIA

- Bandel V A, Dzienia S, Stanford G. 1980. Comparison of fertilized for no-till corn. *Agron. J* 72:37-341.
- Bouwmeester R J B, Vlek P L G, Stumpe J M. 1985. Effect of environmental factors on volatilization from a urea-fertilized soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:376-381.
- Dominguez G F, Studdert G A, Echeverría H E, Andrade FH2001. Sistemas de cultivo y nutrición nitrogenada en maíz. *Ciencia del Suelo* 19: 47-56.
- Ferguson R B, Kiessel D E, Koelliker J K, Basel W. 1984. Ammonia volatilization from surface-applied urea: Effect of hydrogen ion buffering capacity. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 2:578-585.
- Fontanetto H, Vivas H, Kéller O, Romera J. 2002. Evaluación de la volatilización de amoníaco desde diferentes fuentes nitrogenadas aplicadas en soja con siembra directa. II Congreso Brasileiro de Soja. Mercosoja 2002. Resumos: 229.
- Fox, R. H. y Bandel, V. A. 1986. Nitrogen utilization with no-tillage *In: No-Tillage and Surface-Tillage*

- Agriculture. He Tillage Revolution, M A Sprage and G B Triplett, ed. pp. 117-255. John Wiley and Sons. USA.
- Fox R H, Kern J M, Piekielek W P. 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 R H, Piekielek W P. 1993. Management and urease inhibitor effect on nitrogen use efficiency in no-till corn. *J. Prod. Agr.* 6:195-200.
- García FO, Fabrizio K P, Picone L I, Justel J F. 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.
- Hargrove W. L. 1988. Soil, environmental, and management factors influencing ammonia volatilization under field conditions. En *Ammonia volatilization from urea fertilizers*. B R Bock, D E Kiessel, Ed. National Fertilizer Development Center Tennessee Valley Authority Muscle Shoals, Alabama. pp. 17-36.
- Howar D D, Tyler D D. 1989. Nitrogen source, rate, and application method for no-tillage corn. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 53:1573-1577.
- Keller G D, Mengel D B. 1986. Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers surface applied to no-till corn. *Soil Sci. Am. J.* 50:1060-1063.
- Nelson D W, Sommers L E. 1973. Determination of total nitrogen in plant material. *Agron J.* 65: 109-112.
- Nommik H. 1973. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest soil. *Plant Soil.* 39:309-318.
- Novoa R., Loomis, R.L. 1981. Nitrogen and plant production. *Plant Soil* 58: 177-204.
- Ritchie S W, Hanway J J. 1982. How a corn plant develops. Iowa State Univ. Coop. Ext. Serv. Spec. Rep. 48.
- Sainz Rozas H R, Echeverría H E, Studdert G A, Andrade F H. 1997. Volatilización de amoníaco desde urea aplicada al cultivo de maíz bajo siembra directa *Ciencia del Suelo* 15:12-16.
- Sainz Rozas H R, Echeverría H E, Studdert G A, Andrade F H. 1999. No-tillage corn nitrogen uptake and yield: effect of urease inhibitor and application time. *Agron. J.* 91: 950-955.
- Sainz Rozas H R. 2001. Dinámica del nitrógeno e el cultivo de maíz irrigado bajo siembra directa e Balcarce (Argentina). Tesis Doctor en Ciencias Agrarias. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Buenos Aires, Argentina
- SAS. Institute Inc. 1985. User's guide. Statistics. Version 5. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA.
- Stecker JA, Buchholz DD, Hanson RG, Wollenhaupt N C, McVay K A. 1993. Application placement and timing of nitrogen solution for no-tillage corn. *Agron. J.* 85: 645-650.
- Uhart S A, Andrade F H. 1995. Nitrogen deficiency in maize: I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning, and kernel set. *Crop Science.* 35: 1376-1383.
- Videla C. 1994. la volatilización de amoníaco: una vía de pérdida en sistemas agropecuarios. EEA INTA Balcarce. Boletín Técnico N° 131.
- Watson C J, Miller H, Poland P, Kilpatrick D J, Allen M D B, Garrett M K, Christianson C B. 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.