

EFFECTO DEL INHIBIDOR DE LA UREASA (nBTPT) Y DEL MOMENTO DE FERTILIZACION SOBRE LAS TRANSFORMACIONES DEL NITROGENO EN EL SUELO BAJO SIEMBRA DIRECTA DE MAIZ

H SAINZ ROZAS¹, H E ECHEVERRÍA^{2,3}, G A STUDDERT³, F H ANDRADE^{2,3}

⁽¹⁾ Facultad de Agronomía-UNCPBA, ⁽²⁾ EEA INTA Balcarce, ⁽³⁾ Facultad de Ciencias Agrarias UNMPCC 276, 7620 Balcarce, Argentina

NITROGEN TRANSFORMATIONS IN A SOIL UNDER NO-TILL CORN AS AFFECTED BY UREASA INHIBITOR AND TIME OF FERTILIZER APPLICATION

Soil nitrogen availability during the period of maximum demand by corn affects crop physiological status when yield is defined. The area under no-till summer crops in the southeastern Buenos Aires Province has increased, and there is a lack of information about nitrogen dynamics under no-tillage. The objective of this work was to assess soil mineral nitrogen and microbial biomass nitrogen (NBM) content changes along no-till corn growing season as affected by nitrogen fertilizer rate, moment of application, and presence of the urease inhibitor nBTPT. The effect of three nitrogen fertilizer rates applied as urea on soil surface at planting and at six leaves stage (V6), and with and without nBTPT, were evaluated. Soil samplings were done at planting and at 27, 50, 67, 94 and 163 days after planting (DDS). Nitrogen application at planting produced an increase of soil mineral nitrogen content until V6 (50 DDS). Then it decreased to reach a minimum at anthesis (94 DDS), and remained constant until the end of the experiment (163 DDS). Soil mineral nitrogen content produced by fertilization at V6, the moment of maximum crop nitrogen demand (67 DDS), was higher than that produced by nitrogen application at planting. The nBTPT did not delay soil mineral nitrogen content increase whenever the fertilizer had been applied. This indicates that nBTPT inhibiting power for the conditions under study was low. There was a significant ($P < 0.05$) change of NBM along corn growing season. NBM increased between planting and anthesis (94 DDS), and then it decreased until physiological maturity (163 dds) to reach values not significant ($P > 0.05$) from those at planting. This suggests that NBM is a temporary sink that provides nitrogen to corn during crop maturity.

Key words: Corn - No tillage - Nitrogen fertilization - nBTPT - Moment of fertilization

INTRODUCCION

La disponibilidad de nitrógeno para el cultivo de maíz entre el estadio vegetativo V5-V6 y hasta 15-20 días después de la floración es importante para que el cultivo pueda desarrollar y mantener una adecuada cobertura foliar, lo que le permitirá un óptimo estado fisiológico alrededor de la floración, período considerado crítico en la determinación del rendimiento (Uhart, Andrade 1995). La disponibilidad en el suelo de nitrógeno mineral derivado de la urea es el resultado del balance entre los procesos de mineralización-inmovilización y de pérdida de nitrógeno a través de diferentes procesos, que afectan la eficiencia con la que los cultivos utilizan el nitrógeno del fertilizante.

En el norte de la Provincia de Buenos Aires Conti *et al.* (1985) reportaron que los máximos contenidos de nitratos en el suelo ocurren en el estadio V5-V6 del cultivo de maíz, cuando el mismo es realizado bajo labranza convencional, poniendo en evidencia que la mineralización neta del nitrógeno, a partir de distintas

fuentes (orgánico del suelo y urea), prevalece sobre la absorción de éste por el cultivo al comienzo de la estación de crecimiento. Dicho comportamiento ha permitido el desarrollo de metodologías de diagnóstico de deficiencias de nitrógeno, en base al contenido de nitratos en el suelo, en dicho estadio (Magdoff *et al.* 1984; Binford *et al.* 1992; Meisinger *et al.* 1992). Sin embargo, dicho comportamiento no ha sido descrito suelos del Sudeste Bonaerense y en particular para el cultivo de maíz bajo siembra directa (SD).

Por otra parte, la disponibilidad de nitrógeno mineral puede disminuir por la inmovilización microbiana. En el Sudeste Bonaerense se observaron tendencias a un incremento en el contenido del NBM por el agregado de nitrógeno, durante el desarrollo del cultivo de trigo bajo labranza convencional (Videla *et al.* 1996). Las poblaciones microbianas son mayores en suelos bajo SD con respecto a aquellos bajo labranza convencional (Doran 1980), siendo mayor la inmovilización con aplicaciones superficiales de nitrógeno (Rice, Smith 1984; Kitur *et al.* 1984). Por ende, la inmovilización de nitrógeno del

fertilizante por la biomasa microbiana (BM) disminuiría la disponibilidad de dicho nutriente durante el período de máximos requerimientos de nitrógeno del cultivo de maíz bajo SD.

Mediante el empleo de distintas alternativas de manejo se puede lograr una mayor recuperación de nitrógeno del fertilizante por el cultivo. En maíz bajo SD, en regiones con similares características edafoclimáticas a las del Sudeste Bonaerense, la fertilización a la siembra del cultivo produjo un menor rendimiento en grano con respecto a la aplicación de nitrógeno al estadio V5-V6 (Wells 1984), debido a la ocurrencia de menores pérdidas de nitrógeno por desnitrificación, cuando el mismo fue aplicado en este último momento. Cuando la urea se aplica en el estadio V6, las menores pérdidas por desnitrificación de nitrógeno deberían reflejarse en mayores contenidos de las formas minerales de dicho nutriente con respecto a la fertilización a la siembra, durante el período de máxima tasa de asimilación por el cultivo.

En SD son frecuentes las aplicaciones de urea en superficie, lo que puede conducir a pérdidas de nitrógeno por volatilización de amoníaco (Keller, Mengel 1986). Dichas pérdidas son mayores cuando la urea es aplicada en el estadio V5-V6, como consecuencia del aumento de la temperatura del suelo (Sainz Rozas *et al.* 1996). Los inhibidores de la ureasa, como el nBTPT, son una herramienta válida para reducir dichas pérdidas (Schlegel *et al.* 1986, Sainz Rozas *et al.* 1996), debido a que disminuyen la velocidad de hidrólisis de la urea (Carmona *et al.* 1990, Watson *et al.* 1994). La capacidad del nBTPT para reducir la hidrólisis de la urea depende del tipo de suelo, su temperatura y de la concentración del producto. Carmona *et al.* (1990), en condiciones de laboratorio, reportaron que del 50 al 34% del nitrógeno aplicado permaneció como urea, luego de 10 días de incubación con temperaturas de 18 y 25 °C respectivamente, cuando la misma fue tratada con nBTPT. Por ende, aplicaciones retrasadas de urea más nBTPT podrían reducir la disponibilidad de nitrógeno mineral para el cultivo de maíz. El objetivo del siguiente trabajo fue estudiar la dinámica en el suelo de las formas minerales de nitrógeno (N-NH_4^+ y N-NO_3^-) y el NBM, en respuesta a distintas dosis de urea, momento (M) de aplicación del fertilizante y uso de un inhibidor de la actividad ureásica (nBTPT).

MATERIALES Y METODOS

El ensayo se realizó en el campo experimental de la EEA INTA de Balcarce, durante la campaña 1994/95. El lote provenía de soja realizada en siembra directa sobre trigo. A la siembra del maíz presentaba una cobertura del 70 %, con una gran proporción de rastrojos del trigo. El suelo es un Argiudol típico con un

contenido de carbono orgánico de $32,4 \text{ g kg}^{-1}$ de suelo y un pH de 5,83 en los primeros 20 cm del perfil. El mismo, presentaba al momento de la siembra del cultivo un contenido de nitrógeno mineral de $60,6 \text{ kg ha}^{-1}$ hasta los 100 cm de profundidad.

El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones con un arreglo factorial $3 \times 2 \times 2$ de los tratamientos, esto es, tres dosis de nitrógeno (35, 70, 140 kg ha^{-1}), en forma de urea con y sin inhibidor de la enzima ureasa (N-n-butyl triamida tiofosforica, nBTPT), aplicadas a la siembra (18/10/94) y al estado de seis hojas (V6) (6/12/94). 50 días desde la siembra (DDS). También fue incluido un tratamiento sin nitrógeno (control o testigo).

El híbrido utilizado fue DK 636 y fue sembrado el 15/10/94 con una sembradora adaptada para siembra directa con líneas separadas 0,7 m, en unidades experimentales de cuatro surcos (2,8 por 12 m de longitud). Durante la estación de crecimiento del cultivo el suministro de agua no fue limitante para el mismo y los valores de humedad oscilaron entre 20 y $25 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ de suelo. Dichos valores permiten una elevada mineralización de nitrógeno, según lo reportado por Navarro *et al.* (1991) para suelos similares a los empleados en esta experiencia. El nBTPT fue diluido en alcohol metílico y rociado sobre el fertilizante, en una proporción de 0,25 % en peso.

Los análisis de suelo se realizaron a los 27, 50, 67, 94 y 163 DDS. Para ello se tomaron 9 submuestras de los primeros 5 cm de cada unidad experimental, 6 de los 5-20 cm y 3 de los 20-40 y 40-60 cm. Los muestreos de los 27, 50, 67 y 94 dds se realizaron hasta los 60 cm de profundidad y, antes de la siembra del cultivo y en madurez fisiológica, hasta los 100 cm. Las muestras fueron conservadas a 5 °C y luego tamizadas por 4,8 mm. Para la determinación de N-NO_3^- y N-NH_4^+ se realizó la extracción con K_2SO_4 0,5 M en una relación suelo:solución 1:4. La determinación de N-NO_3^- y N-NH_4^+ se realizó por microdestilación por arrastre de vapor y posterior titulación con H_2SO_4 0,005 N (Bremner, Keeney 1966). El NBM en las muestras de suelo se determinó por el método de fumigación-extracción según Brookes *et al.* (1985), utilizando la ecuación:

$$\text{NBM} = (\text{F} - \text{NF}) / k_n$$

donde F corresponde a la muestra fumigada con cloroformo y NF a la sin fumigar. $k_n = 0,47$ (Ferrari *et al.* 1992-1993).

La muestra fumigada resultó de la exposición del suelo a vapores de cloroformo, en un desecador durante 18-24h. Luego se realizó una extracción con K_2SO_4 (0,5 M) en una relación suelo:solución 1:4. Quince mililitros del extracto fueron digeridos con 5 ml de H_2SO_4 concentrado y $0,3 \text{ ml SO}_4\text{Cu}$, determinándose el N-NH_4^+ según lo descrito anteriormente. Para la muestra NF se empleó el mismo extracto utilizado para la determinación de nitrógeno inorgánico y se procedió a la digestión y cuantificación en idéntica forma. En los días siguientes a la aplicación del fertilizante las temperaturas del suelo fueron registradas horariamente, a 1 cm de profundidad. El análisis de la varianza fue realizado para cada fecha usando el procedimiento GLM incluido en las rutinas del programa Statistical Analysis Systems (SAS) (SAS Institute Inc, 1985). Las diferencias entre medias de tratamiento fueron testeadas usando el test de rangos múltiples de Duncan.

RESULTADOS Y DISCUSION

Evolución del nitrógeno mineral

No se detectaron interacciones significativas ($P > 0,05$) en el contenido de N-NH_4^+ entre los distintos factores bajo estudio, para las distintas fechas de

muestreo (Tabla 1). A los 27 dds se observó un efecto significativo ($P<0,05$) del nivel de nitrógeno en el contenido de $N-NH_4^+$ (Tabla 1; Figura 1). Por el contrario, no se observó efecto del nBTPT en el contenido de $N-NH_4^+$ (Tabla 1), demostrándose que el período de inhibición de la hidrólisis no fue prolongado, probablemente debido al pH ácido del suelo. Watson *et al.* (1994) reportaron una correlación positiva entre el porcentaje de nitrógeno remanente como urea y el pH del suelo. Luego de los 27 días el contenido de amonio decreció rápidamente, lo que podría ser atribuido a una elevada tasa de nitrificación, consecuencia de las relativamente altas temperaturas medias del suelo ($19-20^\circ C$).

En el muestreo realizado a los 67 DDS (entre V6 y antesis) el nivel de nitrógeno y el momento de aplicación del mismo afectaron significativamente ($P<0,05$) el contenido de $N-NH_4^+$ (Tabla 1; Figura 1). Es de destacar que a pesar del menor período transcurrido desde la fertilización (al estadio V6) hasta el momento de muestreo, el contenido de $N-NH_4^+$ es menor que el del muestreo a los 27 DDS, debido a una mayor tasa de nitrificación, asociada a la más elevada temperatura media del suelo medida en dicho período ($26^\circ C$) y también a una mayor tasa de absorción de nitrógeno del cultivo. Tampoco se detectó efecto del nBTPT sobre el contenido de $N-NH_4^+$ para esta fecha de muestreo (Tabla 1). Períodos más cortos de inhibición pueden ser esperados para aplicaciones retrasadas de urea, dado que el efecto inhibitorio del nBTPT es menor a medida que aumenta la temperatura del suelo (Carmona *et al.* 1990).

El patrón general de los contenidos de $N-NH_4^+$ descrito (Figura 1), podría deberse no sólo al poco poder inhibitorio del nBTPT sino también a la elevada actividad ureásica de estos suelos (Ferrari 1995, comu-

nicación personal) y a la elevada capacidad de carga de organismos nitrificadores (Navarro *et al.* 1980), a pesar de que en condiciones de SD el número de estos organismos en superficie puede verse fuertemente disminuido (Doran 1980). En algunos muestreos se detectaron interacciones significativas ($P<0,05$) sobre el contenido de $N-NO_3^-$ entre los factores bajo estudio (Tabla 1). Debido a esto, en la Figura 2 se graficaron todas las combinaciones posibles entre los distintos niveles de cada factor.

Cuando la urea fue aplicada a la siembra, se detectaron diferencias significativas ($P<0,05$) en el contenido de $N-NO_3^-$ entre los distintos niveles de nitrógeno, a los

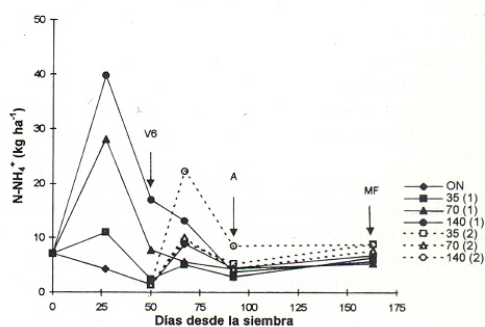


Figura 1: Evolución del contenido de $N-NH_4^+$ durante el ciclo del cultivo para distintos niveles de nitrógeno y momento de fertilización, ON= sin nitrógeno; 35, 70 y 140 corresponden a $kg\ ha^{-1}$ de nitrógeno aplicados al momento de la siembra del cultivo (1) y al estadio V6 del mismo (2). Las flechas indican los estadios de seis hojas (V6), antesis (A) y madurez fisiológica (MF). Los muestreos de los 27, 50, 67 y 94 días desde la siembra se realizaron hasta los 60 cm de profundidad, mientras que el muestreo antes de la siembra y el de madurez fisiológica se realizó hasta 100 cm.

Tabla 1. Análisis de la varianza para el efecto del nivel de nitrógeno, presencia de nBTPT (I) y del momento de fertilización (M) en el contenido de $N-NH_4^+$, $N-NO_3^-$ y NBM durante el ciclo del cultivo de maíz en siembra directa

		Días desde la siembra del cultivo														
		27			50			67			94			163		
FV		$N-NH_4^+$	$N-NO_3^-$	NBM	$N-NH_4^+$	$N-NO_3^-$	NBM	$N-NH_4^+$	$N-NO_3^-$	NBM	$N-NH_4^+$	$N-NO_3^-$	NBM	$N-NH_4^+$	$N-NO_3^-$	NBM
N		*	**	*	ns	**	*	**	**	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns
I		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
M		—	—	—	—	—	—	*	**	ns	ns	*	ns	ns	*	ns
N*I		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns
N*M		—	—	—	—	—	—	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
I*M		—	—	—	—	—	—	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns
N*I*M		—	—	—	—	—	—	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV %		54	21	11	114	26	17		13,6		78	40	19	66	31	20

**, * significativo $P<0,01$ y $P<0,05$, respectivamente. ns= no significativo.

27 DDS (Tabla 1). Sin embargo, sólo el nivel más alto de nitrógeno fue significativamente mayor ($P < 0,05$) que los demás (Figura 2a). Si bien no hubo efecto del nBTPT sobre el contenido de nitratos, se observó una tendencia a un menor contenido de esta forma mineral en los tratamientos que habían recibido nBTPT (Figura 2a).

En el estadio V6 del cultivo (50 dds) el nivel de nitrógeno afectó significativamente el contenido de N-NO_3^- (Tabla 1). La mayor parte del nitrógeno aplicado a la siembra se recuperó en dicho momento (Figura 2a), coincidiendo con lo reportado por Conti *et al.* (1985) para maíz en labranza convencional y Dou *et al.* (1995) para maíz bajo SD. El nBTPT no afectó el contenido de N-NO_3^- en este momento (Tabla 1), lo cual podría ser atribuido a las escasas pérdidas por

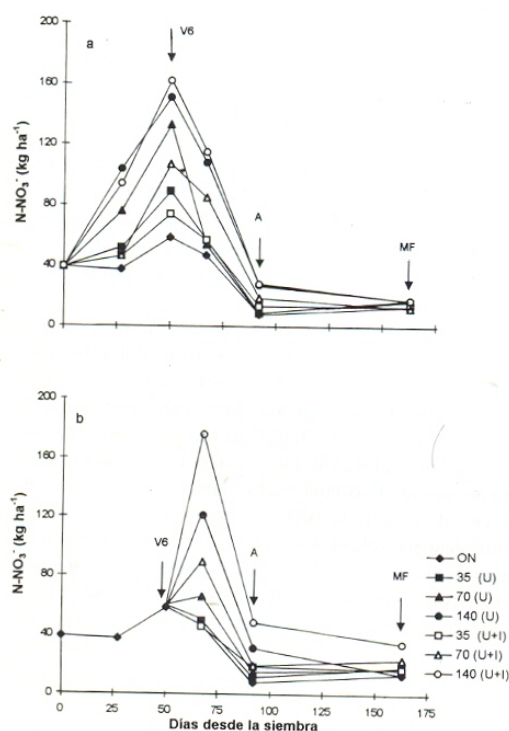


Figura 2: Evolución del contenido de N-NO_3^- durante el ciclo del cultivo para la aplicación de urea a la siembra del cultivo (a) y al estadio V6 (b). ON= sin nitrógeno; 35, 70 y 140 corresponden a kg ha^{-1} de nitrógeno. U= urea; U+I= urea más nBTPT. Las flechas indican los estadios de seis hojas (V6), antesis (A) y madurez fisiológica (MF). Los muestreos de los 27, 50, 67 y 94 días desde la siembra se realizaron hasta los 60 cm de profundidad, mientras que el muestreo antes de la siembra y el de madurez fisiológica se realizó hasta 100 cm.

volatilización de amoníaco observadas cuando la urea fue aplicada a la siembra (Sainz Rozas *et al.* 1996). Estos resultados sugieren que la mineralización del nitrógeno prevaleció al comienzo de la estación de crecimiento sobre su absorción por el cultivo, mientras que desde V6 en adelante se habría invertido dicho comportamiento, dada la caída abrupta en el contenido de N-NO_3^- (Figura 2a). En coincidencia con lo reportado por Magdoff *et al.* (1984), Binford *et al.* (1992) y Meisinger *et al.* (1992), estos resultados sugerirían que la determinación de N-NO_3^- en el suelo al estadio V5-V6 es potencialmente apta para ser empleada como diagnóstico de la disponibilidad de nitrógeno, aún para el cultivo de maíz bajo SD.

A los 67 dds se detectó interacción significativa ($P < 0,05$) entre el nivel de nitrógeno aplicado, momento de fertilización y presencia de nBTPT en el contenido de N-NO_3^- (Tabla 1). Sólo el nivel superior de nitrógeno aplicado en V6 con nBTPT fue significativamente mayor que los demás tratamientos ($P < 0,05$), (Figura 2a y 2b). El mayor contenido de N-NO_3^- , cuando la urea fue tratada con nBTPT y aplicada en V6, estaría explicado por las mayores pérdidas por volatilización de amoníaco observadas cuando la urea fue aplicada en el mismo estadio sin nBTPT y por la relación directa de las mismas con el nivel de fertilización (Sainz Rozas *et al.* 1996). Por consiguiente, el nBTPT no produjo un retraso en la aparición de N-NO_3^- posterior a la fertilización en el estadio V6, observándose el mismo comportamiento que en el muestreo realizado a los 27 días de las aplicaciones a la siembra.

En antesis (94 dds) se observaron efectos significativos ($P < 0,05$) del nivel de nitrógeno aplicado, del momento de fertilización y de la presencia de nBTPT sobre el contenido de N-NO_3^- (Tabla 1). Los mayores niveles de N-NO_3^- ($P < 0,05$) se encontraron solo en el nivel más alto de fertilización. Según Dou *et al.* (1995) existe una concentración mínima de N-NO_3^- en el suelo que no puede de ser tomada por el cultivo de maíz, siendo dicho umbral de 3 mg kg^{-1} . Sólo en la dosis de fertilización de 140 kg ha^{-1} de nitrógeno, la concentración de N-NO_3^- en el estadio de antesis ($3,9 \text{ mg kg}^{-1}$) fue superior a dicho umbral. Además, entre dicho estadio y el de madurez del cultivo, no se observaron variaciones importantes en el contenido de N-NO_3^- . Por consiguiente, a partir de la floración, el nitrógeno mineral proveniente del fertilizante no habría contribuido mayormente a la nutrición nitrogenada del maíz.

El contenido de N-NO_3^- en antesis fue ligeramente superior ($P < 0,05$) cuando la urea fue aplicada en el estadio V6, (Figura 2 a y b), como consecuencia de una menor exposición del nutriente a diversos mecanismos de pérdida. Mayores contenidos de N-NO_3^- fueron

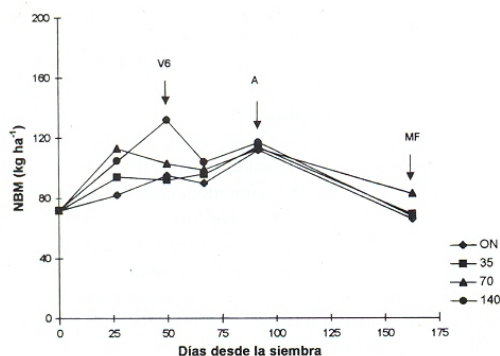


Figura 3. Evolución del contenido de nitrógeno en la biomasa microbiana (NBM) durante la estación de crecimiento del cultivo. ON= sin nitrógeno; 35, 70 y 140 kg ha⁻¹ de nitrógeno. Los valores de NBM están promediados a través de los niveles de nBTPT hasta los 50 días desde la siembra y a través de los niveles de nBTPT y momento de fertilización a partir de los 50 días desde la siembra. El contenido de NBM corresponde a las cantidades evaluadas en los primeros 20 cm del perfil.

observados en el estadio de antesis cuando la urea fue recubierta con nBTPT (Figura 2 b). Estas diferencias no fueron de gran magnitud, como consecuencia de las escasas pérdidas por volatilización de NH₃. En madurez fisiológica (163 dds), si bien se detectaron algunas interacciones significativas, el contenido de N-NO₃⁻ fue similar para todos los tratamientos y los valores oscilaron entre 17 y 32 kg ha⁻¹ (Figura 2 a y b).

Nitrógeno en la biomasa microbiana

El contenido de NBM solo fue afectado ($P < 0,05$) por el nivel de nitrógeno aplicado en el muestreo realizado a los 27 y 50 DDS, siendo el mismo significativamente superior al del tratamiento testigo, sólo para los niveles más altos de fertilización (Tabla 1) (Figura 3). No se encontró efecto de ninguno de los factores en estudio para las demás fechas de muestreo (Tabla 1). La fertilización al estadio V6 no produjo incrementos significativos en el contenido de NBM en los muestreos posteriores a dicho momento, lo que podría atribuirse a una mayor competencia del cultivo por el nitrógeno del fertilizante. El pasaje más rápido de urea a N-NO₃⁻ que ocurrió cuando el fertilizante fue aplicado tardíamente podría mejorar la competencia microorganismos-cultivo a favor de éste último, debido a que las plantas compiten mejor con los microorganismos cuando más elevados son los contenidos de esta forma mineral (Schimel *et al.* 1989).

Debido a las fluctuaciones del contenido de NBM

durante el ciclo, se analizó su evolución en el tiempo mediante una prueba de parcelas divididas, en donde el nivel de nitrógeno aplicado fue la parcela principal y las fechas de muestreo las subparcelas (Steel, Torrie 1993). No se encontró interacción significativa entre el nivel de nitrógeno aplicado y la fecha de muestreo sobre el NBM, aunque se observó una tendencia de aumento del NBM con el incremento en la dosis de fertilizante. Por otro lado, se produjeron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre las fechas de muestreo (Figura 3). Si bien se registraron fluctuaciones desde la siembra a antesis, en general puede observarse que el NBM aumenta hasta dicho estadio (94 dds), produciéndose luego una caída hasta madurez fisiológica. En este momento el contenido de NBM fue significativamente menor ($P < 0,01$) que en el estadio de antesis (Figura 3). Este comportamiento coincide con el reportado por Franzuebbers *et al.* (1995) para sorgo en SD y por Carter y Rennie (1984) para trigo en SD. Dichos autores, atribuyeron ese aumento inicial a la disponibilidad de sustratos carbonados provenientes de las raíces durante el período de mayor crecimiento del cultivo, dado que uno de los factores que afecta el tamaño de la BM es la disponibilidad de energía (Bonde *et al.* 1987). Por ende, la caída del NBM en madurez fisiológica podría ser atribuida a una menor disponibilidad de energía. Similar comportamiento en la dinámica del NBM ha sido reportados en trigo por Videla *et al.* (1996).

De acuerdo con los resultados obtenidos, parecería que la BM es un destino temporario del nitrógeno proveniente del fertilizante durante los primeros estadios de crecimiento del maíz, que permitiría conservar una fracción de dicho nutriente cuando la cantidad de las formas minerales es máxima, evitando así posibles pérdidas desde el sistema suelo-planta. Por el contrario, luego de antesis la BM se constituiría en fuente de nitrógeno para el cultivo durante el período de llenado de granos, debido a que la pérdida de NBM entre antesis y madurez fisiológica coincide con la absorción post-floración del cultivo, que osciló entre 30 y 40 kg ha⁻¹ de nitrógeno para todos los niveles aplicados (datos no mostrados).

REFERENCIAS

- Binford GD, Blackmer AM, Cerrato ME 1992. Relationships between corn yields and soil nitrate in late spring. *Agron. J.* 84:53-59
- Bonde TA, Schnurer J, Rosswall T. 1987. Microbial biomass as a fraction of potentially mineralizable nitrogen in soils from long-term field experiments. *Soil Biol. Biochem.* 4:447-452
- Bremner J, Keeney D. 1966. Determination and isotope-ratio

- analysis of different forms of nitrogen in soils: 3 exchangeable ammonium, nitrate and nitrite by extraction-distillation methods. *Soils Sci. Soc. Am. Proc.* 30:577-582
- Brookes P, Landman A, Pruden G, Jenkinson D. 1985. Chloroform fumigation and release of nitrogen soil: a rapid method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biol. Biochem.* 17:837-842
- Carter MR, Rennie DA. 1984. Dynamics of soil microbial nitrogen under zero and shallow tillage for spring wheat, using ^{15}N urea. *Plant and Soil* 76:157-164
- Carmona G, Christianson CB, Byrnes BH. 1990. Temperature and low concentration effects of the urease inhibitor N-n-butyl thiophosphoric triamide (nBTPT) on ammonia volatilization from urea. *Soil Biol. Biochem.* 7:933-937
- Conti ME, Rodríguez AM, Peña S. 1985. Distribución y dinámica de los nitratos en Arjudoles, series Arroyo Dulce y Delgado, bajo cultivo de maíz. *Ciencia del Suelo*. 3:124-129
- Doran, JW. 1980. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:765-771
- Dou Z, Fox RH, Toth JD. 1995. Seasonal soil nitrate dynamics in corn as affected by tillage and nitrogen source. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:858-864
- Ferrari J, Bergonzi R, Echeverría H, Navarro C. 1992-1993. Comparación de técnicas de determinación de nitrógeno en la biomasa microbiana de suelos del Sudeste Bonaerense. *Ciencia del Suelo*. 10/11:94-97
- Ferrari MH. 1995. Hidrólisis de la urea en suelos de la Región Pampeana. Tesis Ing. Agr. Fac. de Cs. Agr. Univ. Nac. de Mar del Plata
- Flanzuebbers AJ, Hons FM, Zuberer DA. 1995. Soil organic carbon, microbial biomass, and carbon and nitrogen in sorghum. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:460-466
- Keller GD, Mengel DB. 1986. Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers surface applied to no-till corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 1060-1063
- Kitur BK, Smith MS, Blevins RL, Frye WW. 1984. Fate of ^{15}N -depleted ammonium nitrate applied to no-tillage and conventional tillage corn. *Agron. J.* 76:240-242
- Magdoff FR, Ross D, Amadon J. 1984. A soil test for nitrogen availability to corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:1301-1304
- Meisinger JJ, Bandel VA, Angle JS, O'Keefe BE, Reynolds CM. 1992. Pre-sidedress soil nitrate test evaluation in Maryland. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:1527-1532
- Navarro CA, Echeverría HE, Gonzalez N, Iglesias M. Cinética de las reacciones de amonificación y nitrificación en algunos suelos de la Argentina. IX Reunión de la Cí del Suelo 431-437
- Navarro CA, Echeverría HE, Fonalleras ML, Manavelli 1991. Efecto de los contenidos de humedad sobre mineralización de nitrógeno en suelos del Sudeste Bonaerense. *Ciencia del Suelo* 9:13-19
- Rice, CW, Smith MS. 1984. Short-term immobilization of fertilizer nitrogen at the surface of no-till and plowed soils. *Soil S Soc. Am. J.* 48:295-297
- Sainz Rozas HR, Echeverría HE, Studdert GA, Andrade F. 1996. Volatilización de amonio desde fertilizantes nitrogenados en siembra directa de maíz. XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo: 157-158
- SAS. Institute Inc. 1985. User's guide. Statistics. Version 5. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA
- Schlegel AJ, Nelson DW, Sommers LE. 1986. Field evaluation of urease inhibitors for corn production. *Agron. J.* 78:1007-1012
- Schimel JP, Jackson LE, Firestone MK. 1989. Spatial and temporal effects on plant-microbial competition for inorganic nitrogen in a California annual grassland. *Soil Biol. biochem.* 21:1059-1066
- Steel RGD, Torrie JH. 1993. Bioestadística: Principios y Procedimientos. Segunda edición. ed. McGraw-Hill, New York. p. 384-386
- Uhart, SA, Andrade FH. 1995. Nitrogen deficiency in maize: I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning, and kernel set. *Crop Sci.* 35:1376-1383
- Videla C, Ferrari JL, Echeverría HE, Travasso ML. 1996. Transformaciones del nitrógeno en el cultivo de trigo. *Ciencia del Suelo* 14:1-6
- Watson CJ, Miller H, Poland P, Kilpatrick DJ, Allen MDB, Garrett MK, Christianson CB. 1994. Soil properties and the ability of the urease inhibitor N-(n-butyl) thiophosphoric triamide (nBTPT) to reduce ammonia volatilization from surface applied urea. *Soil Biol. Biochem.* 9:1165-1171
- Wells, KL, Bitzer MJ. 1984. Nitrogen management in the no-till system. Nitrogen in crop production. Hauck RD, Beaton JD, Goring CAI, Hauck RD, Hoeft RG, Randall GW, Russel DA. Ed. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin USA. pp. 535-549