Ciencia del Suelo 14: 1-6 1996

TRANSFORMACIONES DEL NITROGENO EN EL CULTIVO DE TRIGO

C C VIDELA, J L FERRARI, H E ECHEVERRÍA, M I TRAVASSO

Unidad Integrada INTA - FCA Balcarce CC 276 (7620) Balcarce, Argentina

NITROGEN TRANSFORMATIONS IN WHEAT CROPS

In order to quantify the fate of nitrogen applied as urea to a crop of wheat, two experiments were carried out in Balcarce in 1991 and 1992. Three treatments were evaluated, no nitrógeno (T), 120 kg of nitrogen at sowing (FS) and 120 kg nitrogen at tillering (FM) as urea. The evolution of the following variables was studied: urea-nitrogen, ammonium-nitrogen, nitrate-nitrogen, microbial biomass-nitrogen, ammonia-nitrogen volatilized and plant-nitrogen. Their evolution was similar for both years. Urea hydrolisis was fast, although quicker in FM than in FS. Therefore NH^+_4- nitrogen increased rapidly, and decreased slowly afterwards. NO^-_3-nitrogen accumulated only after sowing. Microbial biomass-nitrogen responded to nitrogen application and increased about 30 days after sowing (31.7 % and 57.8 % of applied nitrogen in 1991 and 1992, respectively). Fluctuations in biomass levels could be related to some extent to soil water contents. Final biomass-nitrogen contents did not differ from initial values. Urea NH_3- nitrogen volatilization was low (T=1.3; FS=1.7 and FM=4.9 kg nitrogen ha^{-1}). Under FS and FM nitrogen absorbed by plants was greatest at physiological maturity; afterwards, accumulated nitrogen decreased about 40 kg ha^{-1}. FM treatment better yields (FS=5891 and FM=6915 kg ha^{-1}) could be explained because of FM greater antesis-nitrogen accumulation and its subsequent greater number of reproductive sinks.

Key words: Wheat-Urea-Inorganic-nitrogen-Microbial biomass-Ammonia volatilization

INTRODUCCION

Con la intensificación de la actividad agrícola en el Sudeste Bonaerense en los últimos años, se ha observado una disminución en los contenidos de materia orgánica de los suelos (Echeverría, Ferrari 1993) y una mayor respuesta al agregado de fertilizantes nitrogenados. La urea es la forma más común de fertilizante nitrogenado en trigo, aplicándose a la siembra o al macollaje. En nuestro país, se ha evaluado el incremento en producción de grano en respuesta al agregado de nitrógeno (Berardo *et al.* 1980, Loewy 1990) y se lo ha relacionado con los contenidos de nitratos del suelo en el momento de la siembra (González Montaner *et al.* 1991). Dichas experiencias constituyen una primera aproximación que permite efectuar recomendaciones de fertilización nitrogenada en base a modelos simplificados.

En numerosos trabajos se ha enfatizado el rol del ciclo interno del nitrógeno en el suelo (Jansson, Persson 1982). Durante la descomposición de los residuos vegetales se puede producir una inmovilización transitoria de dicho nutriente, seguida por una liberación gradual del mismo (Haynes 1986). Este proceso de reciclo contínuo es mediado por la biomasa microbiana y la misma puede aportar cantidades sustanciales de nutrientes a la fase disponible del suelo (Anderson, Domsch 1980 Marumoto *et al.* 1982a b). Por otra parte, se ha determinado que el nitrógeno aplicado como fertilizante no es totalmente recuperado al fin de una estación de crecimiento en el sistema suelo-planta, ya que se producen pérdidas desde el suelo en forma gaseosa (Harper *et al.* 1983) o por lavado por debajo de la zona radicular, e inclusive pérdidas gaseosas desde la planta (Daigger *et al.* 1976, Hooker *et al.* 1980, Harper *et al.* 1983).

La naturaleza escencialmente dinámica del nitrógeno en el sistema suelo-planta-atmósfera, que incluye ganancias, pérdidas y transformaciones en forma simultánea enfatiza la necesidad de realizar estudios tendientes a relacionar y cuantificar dichos procesos (Harper *et al.* 1987, Recous *et al.* 1988). Para nuestras condiciones si bien se han efectuado estudios tratando de evaluar algunos de los procesos mencionados, hasta el presente no se han informado trabajos que intenten integrar y relacionar dichos procesos. Este trabajo se plantea como objetivo cuantificar los destinos del nitrógeno de la urea aplicada en el cultivo de trigo en Balcarce, a fin de profundizar el conocimiento del funcionamiento del sistema suelo-planta-atmósfera, lo que contribuirá a generar pautas para mejorar el diagnóstico y la eficiencia de uso de los fertilizantes nitrogenados.

MATERIALES Y METODOS

El experimento se realizó en el Campo Experimental EEA INTA Balcarce (Argentina) en un Argiudol típico, franco illítico, térmico, durante las campañas agrícolas 1991 y 1992, en lotes cuyo antecesor fue maíz y en los que se utilizó labranza convencional (arado de reja, rastra de discos y dientes). El lote seleccionado en 1991 tenía 20 ppm de fósforo (Bray y Kurtz 1), pH 5,9 y materia orgánica 5,6% y el seleccionado en 1992: 8,7 ppm de fósforo, pH 6,1 y 5,5% de materia orgánica. Se agregaron 50 kg de superfostato triple de calcio para uniformar la distribución y garantizar una adecuada disponibilidad de dicho nutriente. Se evaluaron tres tratamientos: testigo sin fertilizar (T), fertilizado a la siembra (FS) y al macollaje (FM), ambos con 120 kg ha^{-1} de nitrógeno como urea, en un diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones, siendo el tamaño de las parcelas de 6 x 10 m. Se utilizó la variedad Prointa Oasis con una densidad de siembra de 300 plantas m^{-2}. Las fechas de siembra y FS fueron el 24/7/91 y el 11/8/92 y la FM se efectuó el 20/9/91 y el 7/10/92. Durante el desarrollo del cultivo se realizaron 7 muestreos de material vegetal en 1991 y 4 en 1992 en los que se determinaron materia seca (MS) y nitrógeno total, dividiendo las muestras en espigas y resto de la planta; 11 muestreos de suelo en cada año, en los que se determinaron nitrógeno inorgánico ($N\text{-}NH_4^+$ y $N\text{-}NO_3^-$), nitrógeno urea y nitrógeno en la biomasa microbiana. También se cuantificó la volatilización de NH_3 durante los 10 días posteriores a cada fertilización y a la cosecha se midió rendimiento en grano.

Los muestreos de MS se hicieron en una superficie de 0,25 m^2 en los que se cortaron las plantas a nivel del suelo, se secaron hasta peso constante a 60°C y se pesaron. Posteriormente fueron molidas (1mm) y se extrajo una submuestra para la determinación de nitrógeno total (Nelson, Sommers 1973). Para los análisis de suelo se tomaron 15 submuestras de los primeros 5 cm, 10 hasta los 20 cm y un mínimo de 3 hasta los 40 cm en cada parcela. Las muestras fueron llevadas al laboratorio (conservadas a 5° C) y procesadas el día siguiente del muestreo, luego de tamizarlas por 4,8 mm. Para las determinaciones de urea, $N\text{-}NO_3^-$ y $N\text{-}NH_4^+$ se efectuó una extracción con K_2SO_4 (0,5 M) en relación suelo:solución 1:4. Los contenidos de urea se determinaron con la técnica colorimétrica de Mulvaney y Bremner (1979) que involucra la medición del color rojo producido cuando la urea reacciona con diacetilmonoxima, en presencia de tiosemicarbazida en medio ácido (H_3PO_4 y H_2SO_4). La determinación de $N\text{-}NO_3^-$ y $N\text{-}NH_4^+$ se efectuó por microdestilación por arrastre de vapor y posterior titulación con 0.005N H_2SO_4 (Bremner, Keeney 1966).

La determinación de nitrógeno de la biomasa microbial (NBM) se realizó según Brookes *et al.* (1985) sobre una muestra fumigada (F) y un testigo sin fumigar (NF). NF se obtuvo digiriendo 15 ml del mismo extracto usado para nitrógeno inorgánico y urea, con 5 ml de H_2SO_4 concentrado y 0,3 ml de 0,19 M $CuSO_4$, en el que se determinó $N\text{-}NH^+_4$ por microdestilación por arrastre de vapor. La muestra F se trató con cloroformo durante 18-24 hs y posteriorente se efectuó el mismo procedimiento descripto para NF.

El NBM se calculó como:
$NBM = (F - NF) / kn$
En donde $k_n = 0,47$ (Ferrari *et al.* 1992-1993).

Para la determinación de $N\text{-}NH_3$ volatilizado se utilizó la técnica descripta por Videla *et al.* (1994), la cual utiliza dos planchas de poliuretano expandido embebidas en 1N H_2SO_4 para atrapar el NH_3 que se volatiliza desde el suelo, en el extremo de un cilindro de PVC de 50 cm de altura (uno por parcela). La plancha superior cumple la función de impedir que la inferior se contamine con el NH_3 proveniente del resto de la parcela. Las planchas son cambiadas cada 24 hs, lavadas cuantitativamente con un volumen conocido de agua destilada y una alícuota destilada para determinar el $N\text{-}NH_4^+$ (Bremner, Keeney 1966). Las determinaciones se realizaron durante los 10 días posteriores a las fertilizaciones. El análisis estadístico de la información se realizó mediante una prueba de parcelas divididas en el tiempo para cada variable y un test de Tuckey cuando las diferencias fueron significativas, a un valor de $P < 0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Figura 1 se presenta la distribución de las precipitaciones acumuladas y el ritmo de la evapotranspiración, calculadas según la fórmula de Penman, además se destaca la ocurrencia de los principales estadíos fisiológicos. Se observa que en ninguno de los anos se produjeron déficits ni excesos importantes de agua.

N-inorgánico en el suelo

La hidrólisis de la urea en 1991 se verificó rápidamente en ambos tratamientos (Figura 2). Sin embargo, en FM su desaparición se vió acelerada por las mayores temperatu-

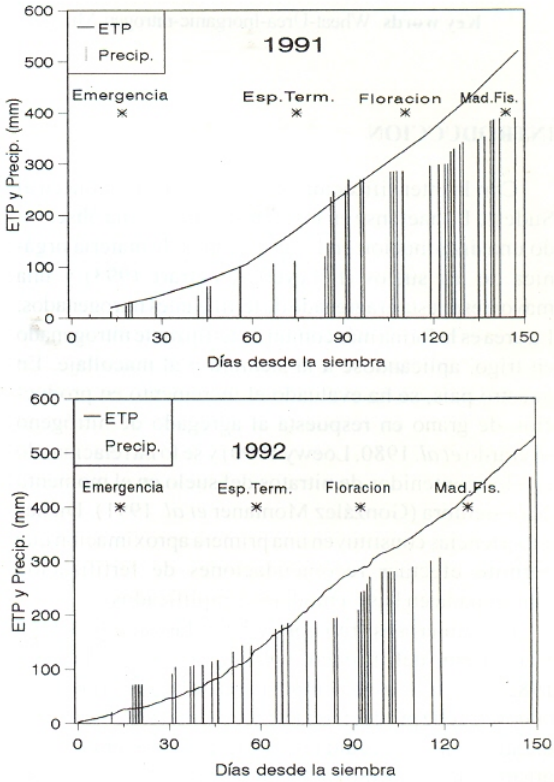

Figura 1. Precipitación y evapotranspiración acumuladas en el cultivo de trigo en las campañas 1991 y 1992 en Balcarce, *representan los principales estadios fenológicos.

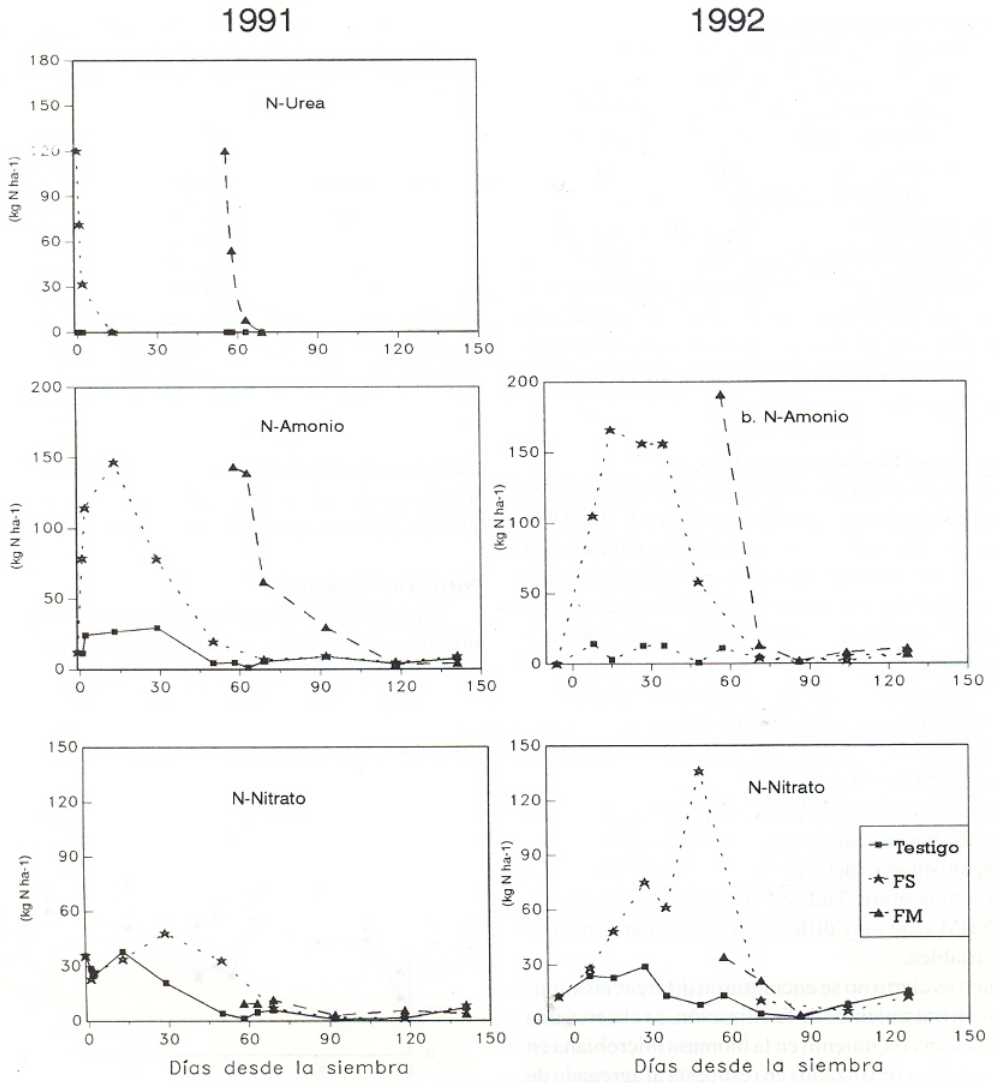

Figura 2. Evolución de los contenidos de amonio, nitrato y urea en el suelo (0-40) durante el desarrollo del cultivo de trigo en Balcarce

ras de suelo (Bremner, Mulvaney 1978). Las temperaturas medias de suelo en los primeros 10 cm fueron de 7,3 y 6,9°C a la siembra para 1991 y 1992 respectivamente y de 11,9°C al macollaje para 1991. Como consecuencia de la hidrólisis de la urea, los contenidos de amonio incrementaron rápidamente al principio y luego decrecieron en forma gradual. En ambas campañas, el contenido de amonio fue significativamente superior al T durante más tiempo en FS que en FM (Figura 2). Sólo hubo acumulación de nitratos en el tratamiento FS (Figura 2), siendo la misma superior en la campaña 1992. Esta mayor acumulación pudo originarse por la fecha de siembra más tardía en 1992, que se manifestó en una diferencia en temperatura media de suelo de 1°C en los primeros 10 días después de la siembra y de 3,4°C en los segundos 10 días después de la siembra, lo que habría acelerado el proceso de nitrificación (Anderson, Bogwel 1964, Mahendrappa *et al.* 1966). De hecho, al calcular las tasas de acumulación de $N\text{-}NH_3^-$ desde la siembra hasta el momento de máxima acumulación, se obtienen valores de 0,41 kg N ha^{-1} $día^{-1}$ en 1991 y 1,77 kg N ha^{-1} $día^{-1}$ en 1992. En FM, a pesar de que las temperaturas medias del suelo son mayores que a la siembra, lo que favorecería la acumulación de nitratos, el crecimiento activo de las plantas en dicho período provocó una rápida absorción de NO^-_3, lo que explicaría que no se hayan acumulado en el suelo.

Pérdidas por volatilización de NH_3

Las pérdidas de nitrógeno por volatilización de amoníaco fueron pequeñas y no difirieron entre tratamientos, aunque los valores determinados en FM fueron ligeramente mayores (Tabla 1). El alto poder buffer del suelo, originado en el alto contenido de materia orgánica, habría moderado rápidamente el aumento de pH generado por la hidrólisis de la urea, impidiendo que las pérdidas fuesen elevadas (Ferguson *et al.* 1984). Las bajas temperaturas en los momentos de aplicación y la ocurrencia de precipitaciones de escasa magnitud, que contribuirían a la incorporación de la urea en el perfil, también habrían actuado en detrimento de las pérdidas por volatilización.

Tabla 1. Nitrógeno amoniacal volatizado durante los diez días posteriores a las aplicaciones de urea

$N\text{-}NH_3$ volatizado. Tratamiento	1991	1992
	(kg ha^{-1})	
T (siembra)	1,28 (0,16)*	1,55 (0,45)
FS	1,01 (0,20)	2,37 (049)
T (macollaje)	1,08 (0,25)	ND
FM	4,99 (305)	ND

*Media desvío estándar, T: testigo, FS: 120 kg Nha^{-1} a la siembra, FM: 120 kg Nha^{-1} al macollaje

Nitrógeno en la biomasa microbiana

Sólo se encontraron diferencias significativas en NBM entre fechas de muestreo (Figura 3). En 1991 estas variaciones parecen tener una relación directa a cambios en el contenido de humedad del suelo, pero al correlacionar estas variables se obtuvieron coeficientes de regresión muy bajos. También en algunos momentos del ciclo aparece una relación con el nitrógeno absorbido por las plantas como se discutirá en la próxima sección. Sin embargo, ninguna de estas variables explica claramente las variaciones en NBM a través del tiempo. La BM es una fracción dinámica que permanentemente es afectada por el medio. Este a su vez puede ser modificado por el comportamiento de las plantas, los microorganismos y factores externos, como precipitaciones y temperatura. Todo ello hace que las fluctuaciones en NBM sean muy difíciles de relacionar con una o pocas variables.

Si bien es cierto no se encontraron diferencias significativas en tratamientos de fertilización, se observó una tendencia a un crecimiento en la biomasa microbiana en los tratamientos fertilizados en respuesta al agregado de nitrógeno. La máxima inmovilización en los tratamientos FS se registró alrededor de los 30 días desde la misma en 1991 y a los 47 días en 1992, pero esta cantidad de nitrógeno inmovilizado no se mantuvo durante todo el ciclo, sino que disminuyó rápidamente hasta valores casi iguales al T. En 1991 FM tiene igual comportamiento que los otros tratamientos (T y FS), salvo para el muestreo a los 2 días desde la fertilización que presenta un valor anormalmente alto. En 1992, FM es similar a FS y, al final del período del cultivo T toma valores algo mayores que los tratamientos fertilizados. Todas estas consideraciones a cerca de la falta de un único patrón en el comportamiento del NBM implicarían que la inmovilización microbiana no afectó marcadamente la disponibilidad de nitrógeno para el cultivo en los tratamientos fertilizados, a pesar de que la baja disponibilidad inicial de nitrógeno, la gran cantidad de residuos y la alta dosis de fertilizante induzcan a pensar que este proceso debiera haber sido más importante.

Nitrógeno en plantas

La cantidad de nitrógeno absorbido por las plantas se presenta en la Figura 4. Se observa en T una tasa de

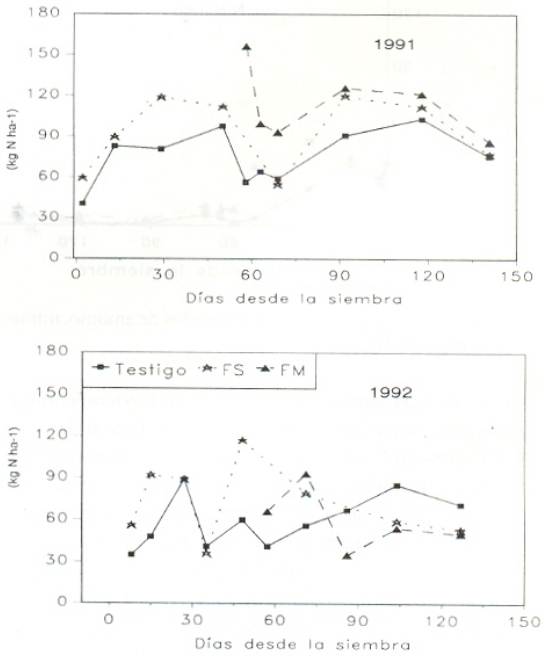

Figura 3. Evolución del contenido de nitrógeno de la biomasa microbiana en el suelo (0-20 cm) durante el desarrollo del cultivo de trigo en Balcarce

Tabla 2. Rendimiento en grano del cultivo de trigo en balcarce en las campañas 1991-92

Tratamiento	1991	1992
	(kg ha^{-1})	
T	3820 (633) * a	3367 (419) a
FS	6165 (774) b	5891 (358) b
FM	6363 (576) b	6915 (625) c

* Media y desvío estándar. Para cada año, medias con distinta letra difieren significativamente P<0,05 T: testigo, FS: 120 kg Nha^{-1} a la siembra, FM: 120 kg Nha^{-1} al macollaje

acumulación lineal, la que hasta los 50 días desde la siembra aproximadamente coincide con la declinación de las formas minerales en el suelo y entre los 50 y 70 días desde la siembra con la declinación del nitrógeno de la biomasa microbiana. A partir de dicho momento, los incrementos de nitrógeno en planta en T se originarían por mineralización de compuestos nitrogenados que no serían biomasa.

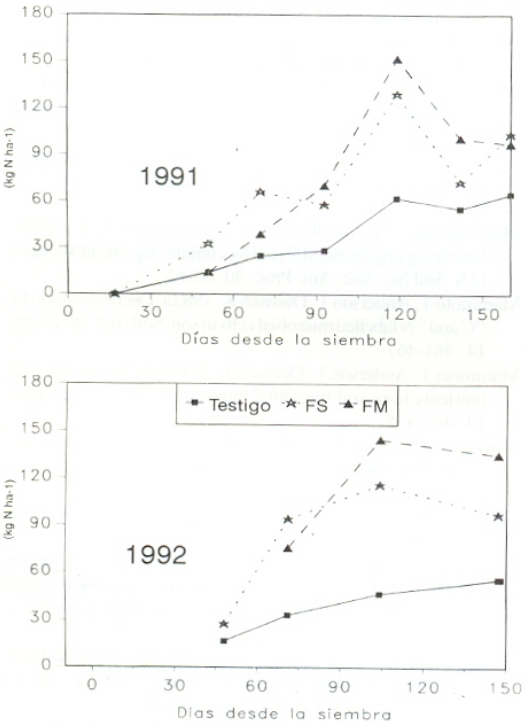

Figura 4. Evolución del nitrógeno absorbido por las plantas de trigo en Balcarce

La acumulación de nitrógeno en los tratamientos fertilizados presenta la típica forma sigmoide que se caracteriza por una primera fase de lenta acumulación, seguida por una etapa casi lineal de máxima tasa, para decrecer al final del ciclo del cultivo. Se verificaron diferencias en las tasas de acumulación en función del momento de la fertilización. La mayor disponibilidad de nitrógeno inorgánico ($N\text{-}NH_4^+ + N\text{-}NO_3^-$) a los 70 días desde la siembra en FM respecto a FS (73 *vs* 13 kg N ha^{-1} en 1991 y 87 *vs* 18 en 1992) se manifestó en un mayor incremento de nitrógeno en plantas en FM que en FS hasta el siguiente muestreo (32 *vs* 0 en 1991 y 76 *vs* 7 en 1992).

Hasta el momento de la antesis (110 días desde la siembra) el T acumuló aproximadamente 40 kg N ha^{-1} mientras que FS y FM, 105 y 127 kg N ha^{-1} , respectivamente. Además, se encontró una mayor acumulación de materia seca en el momento de antesis en los tratamientos fertilizados (T=5000 y F=8000 kg ha^{-1}). Según Fischer (1983) se requieren más de 6000 kg ha^{-1} de MS en dicho período para poder interceptar el 95% de la radiación fotosintéticamente activa. La mayor acumulación de nitrógeno y materia seca en el momento de la antesis se traducen en un mayor número de granos por metro cuadrado lo que define el rendimiento en el cultivo de trigo (Abatte 1991). Como se vió anteriormente, FM acumuló una mayor cantidad de nitrógeno que FS, aunque los valores de MS fueron similares. Esto explicaría el mayor rendimiento en grano de FM, si bien esta diferencia sólo fue significativa en 1992 (FM = 6915 y FS = 5891 kg ha^{-1}).

Hacia madurez fisiológica se observó una disminución importante en la cantidad de nitrógeno acumulado en plantas en los tratamientos fertilizados (40 kg ha^{-1} en 1991 y 5 kg ha^{-1} en 1992), la cual también fue observada en numerosas experiencias (Hooker *et al.* 1980, Harper *et al.* 1987, Echeverría *et al.* 1992) y podría deberse a pérdidas de NH_3 por vía estomática, en el momento de activa traslocación hacia el grano, donde hay ruptura de proteínas y removilización de compuestos nitrogenados (Wetselaar, Farquhar 1980) o también al lavado de compuestos solubles. Es posible que la caída registrada en 1992 haya sido mayor, ya que en un tratamiento fertilizado con 80 kg N ha^{-1} pertenecientes al mismo ensayo, en el cual se hicieron muestreos más frecuentes de materia seca, se observó una caída de 35 kg ha^{-1} en la cantidad de N acumulado en planta, lo que induciría a pensar que en los tratamientos fertilizados con 120 kg N ha^{-1} esta caída podría haber sido similar a este valor. Es posible que, si se hubiese realizado un muestreo entre el 16/12 y el 5/1 (116 y 136 días desde la siembra), se hubiera alcanzado a medir también en este tratamiento una caída más importante en nitrógeno acumulado.

En síntesis, se observó que el N-urea agregado al cultivo de trigo es rápidamente transformado en formas minerales. En un primer momento ocurre una disminución de estas formas minerales que podría explicarse a través de la absorción por los microorganismos o retención en otras fracciones no determinadas, como podrían ser nitrógeno en las raíces ó nitrógeno lábil que no es biomasa microbiana. Posteriormente, esta caída se corresponde con el aumento de nitrógeno en parte aérea de las plantas, siendo máxima la recuperación del nitrógeno aplicado con posterioridad a antesis (75 %). En madurez fisiológica se verificó una caída muy importante del nitrógeno acumulado en planta, que disminuyó la recuperación a menos de 50%. Esta caída representa la mayor pérdida de nitrógeno en el sistema evaluado, por lo que hasta madurez fisiológica, los otros mecanismos de pérdida no habrían sido tan importantes. A fin de profundizar los conocimientos en cuanto a la dinámica del nitrógeno en el cultivo de trigo, podrían medirse otras variables tales como el volúmen de raíces y concentración de nitrógeno en raíces y, fracciones de nitrógeno lábil en el suelo, así como también medir volatilización de NH_3 a partir de las plantas hacia madurez fisiológica.

REFERENCIAS

Abatte P E. 1991. Determinación del número de granos en trigo: efectos de la radiación y del nitrógeno. Tesis Ms.Sc. Univesidad Nac. Mar del Plata. 51pp

Anderson J., Domsch K. 1980. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. Soil Sci. 130: 211-216

Anderson O, Bogwell F C. 1984. The influence of low temperature and various concentrations of ammonium nitrate and nitrification in acid soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28:525-532

Berardo A, Navarro C, Echeverría H. 1980. Relación del contenido de fósforo disponible en el suelo y de nitratos en planta con la respuesta a la fertilización fosfatada y nitrogenada en trigo. Actas IX R.A.C.S. 512-526

Bremner J, Keeney D. 1966. Determination and isotope-ratio analysis of diferents forms of nitrogen in soils: 3 exchangeable ammonium, nitrate and nitrite by extraction-distillation methods. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 30: 577-582

Bremner JM, Mulvaney RL. 1978. Urease activity in soils. *En*: RG Burns (Ed) Soil enzimes. Academic Press. New York.: 149-196

Brookes P, Landman A, Pruden G, Jenkinson D. 1985. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid method to measure microbial biomass nitrogen in soil. Soil Biol. Biochem. 17: 837-842

Daigger L, Schnider D, Peterson G. 1976. Nitrogen content of winter wheat during growth and maduration. Agron. J. 68: 815-818

Echeverría H, Navarro C , Andrade F. 1992. Nitrogen nutrition of wheat following different crops. J. Agric. Sci. Cambrige. 118: 157-163

Echeverría H, Ferrari J. 1993. Relevamiento de algunas características de los suelos agrícolas del Sudeste Bonaerense. Boletín Técnico 112. EEA INTA-Balcarce

Ferguson R B, Kissel D E, Koellore, J K, Basel W. 1984. Ammonia volatilization from surface applied urea: effect of hydrogen ion buffering capacity. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 48: 578-582

Ferrari J, Bergonzi R, Echeverría H, Navarro C. 1992-1993. Comparación de técnicas de determinación de nitrógeno en la biomasa microbial de suelos del Sudeste Bonaerense. Ciencia del Suelo. 10/11: 94-97

Fischer R A. 1983. Wheat. *En*: Potential productivity of field crops. Proc. of a symposium at the International Rice Research Inst., Manila, Philippines. 1135-134

González Montaner J, Maddonni G, Mailland N, Posborg M. 1991. Optimización de la respuesta a la fertilización nitrogenada en el cultivo de trigo a partir de un modelo de decisión para la Subregión IV (Sudeste de la Provincia de Buenos Aires). Ciencia del Suelo 9: 41-51

Harper L, Catchpoole V, Davis R, Weier K. 1983. Ammonia volatilization: soil, plant, and microclimate effects on diurnal and seasonal fluctuations, Agron. J. 75: 212-218

Harper L, Sharpe R, Langdale G, Giddens J. 1987. Nitrogen cicling in a wheat crop: soil, plant, and aerial nitrogen transport. Agron. J. 79: 965-973

Haynes R. 1986. The decomposition process: Mineralization, inmobilization, humus formation and degradation. En: Mineral nitrogen in the plant-soil system, R. Haynes Ed. pp. 52-126. Academic Press. New York

Hooker M, Sander D, Peterson G, Daigger L. 1980. Gaseous N losses from winter wheat. Agron. J. 72: 789-792

Jansson S, Persson J. 1982. Mineralization and immobilization. En: F.J. Stevenson et al. (ed) Nitrogen in agricultural soils. Agronomy 22: 229-252.

Loewy T 1990. Efecto simple y combinado del nitrógeno sobre el trigo en tres épocas de aplicación. Ciencia del Suelo 8: 181-186

Mahendrappa J K, Smith R L, Christianson A T., 1966. Nitrifying organisms affected by climatic regions in Western U S. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 30: 60-62

Marumoto T, Anderson J, Domsch K. 1982a. Decomposition of ^{14}C and ^{15}N labelled microbial cells in soil. Soil Biol. Biochem. 14: 461-467

Marumoto T, Anderson J, Domsch K. 1982b. Mineralisation of nutrients from soil microbial biomass. Soil Biol. Biochem. 14: 469-475

Mulvaney, Bremner J. 1979. A modified diacetylmonoxime method for colorimetric determination of urea in soil extracts. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 10: 1163-1170

Nelson D, Sommers L 1973. Determination of total nitrogen in plant material. Agron. J. 65: 109-112

Recous S, Fresneau C, Faurie G, Mary B. 1988. The fate of labelled ^{15}N urea and ammonium nitrate applied to a winter wheat crop. I. N transformations in the soil. Plant & Soil 112: 205-214

Videla C, Navarro C, González N, Miñón D. 1994. Volatilización de amoníaco a partir de orina de vacunos aplicada a suelos de la Pampa Deprimida. Ciencia del Suelo 12: 1-6

Wetselaar R, Farquhar G D. 1980. Nitrogen losses from tops of plants. Adv.in Agron. 33: 263-303