

EVOLUCION OTOÑO INVERNAL DEL NITROGENO MINERAL EN UN NATRACUOL TIPICO BAJO FESTUCAS CON DIFERENTE HABITO DE CRECIMIENTO

MR DE PRADO, HE ECHEVERRÍA, FA LATTANZI, NF SAN MARTÍN

Unidad Integrada INTA-FCA Balcarce. C.C. 276 (7620) Balcarce. Buenos Aires.

E-mail: hecheverr@balcarce.inta.gov.ar

Recibido 18 de diciembre de 1998, aceptado 1º de marzo de 2001

EVOLUTION OF AMMONIUM AND NITRATE FROM LATE AUTUMN TO EARLY SPRING ON A TYPIC NATRACUOL IMPLANTED WITH TALL FESCUES OF DIFFERENT PATTERN OF GROWTH

Nitrogen deficiencies occurring between autumn and winter affects the potential productivity of mediterranean materials of tall fescue much more than that of temperate materials. Consequently, nitrogen fertilization is proposed as a useful tool to increase the level of biomass accumulated during that critical period. However, there is a lack of information on the fate of N not captured by the sward. Some N could be lost through volatilization, denitrification and/or leaching, and some could remain in the soil in mineral forms. This paper deals with the depth evolution of the ammonium and nitrate contents, accounted between late autumn and early spring, on a Typic Natracuol implanted with *Festuca arundinacea* Schreb swards, and fertilized with urea. The treatments arose from the combination of two cultivars -one mediterranean: Maris Kasba, and one temperate: El Palenque MAG- and three rates of nitrogen fertilizer -0, 100 and 200 kg N ha⁻¹-. Nitrogen was splitly applied: 30% at the end of autumn (20/may) and the rest on 17/jul. Native ammonium content were low and constant during the whole evaluated period. The mean concentration were: 2,4; 1,6; 1,3 and 1,1 mg kg⁻¹ for 0-10, 10-20, 20-40 and 40-60 cm, respectively. After both fertilization times, ammonium content increased in the upper layer (until 41,1 and 31,9 mg kg⁻¹ for the first and second fertilization times, respectively) and decreased fast in response to nitrogen addition. Nitrate contents depend on the balance between mineralisation rate and crop demand. Both urea hydrolization and ammonium oxidation were fast, in spite of low temperatures existing at application time (around 6°C). Contents of mineral nitrogen were more affected by the amount of nitrogen applied than by differences in the pattern of growth of the cultivars. Variations in the mineral nitrogen contents below 20 cm were lowly.

Key words: Ammonium, Nitrate, Tall fescue cultivars, Nitrogen fertilization, Typic Natracuol

INTRODUCCION

En ambientes templado – húmedos, las bajas temperaturas constituyen el factor que limita la productividad de las forrajeras a partir de fines de otoño y durante el invierno. Estudios realizados en plantas de festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb.) mostraron que, en ambientes térmicos invernales –i.e. temperaturas menores a 10°C-, materiales colectados en climas mediterráneos presentaban mayor tasa de crecimiento aéreo que aquellos provenientes de latitudes más altas (MacColl, Cooper 1967). Esta característica fue incorporada en variedades sintéticas que, en posteriores evaluaciones en condiciones naturales, mostraron mayor productividad otoño invernal que los

materiales templados (Mazzanti, Arosteguy 1985).

La expresión del potencial de crecimiento invernal de los materiales mediterráneos ha mostrado depender de la disponibilidad de nitrógeno asimilable (Lattanzi, Mazzanti 1997a), elemento cuya deficiencia entre fines de otoño y principios de primavera ha sido ampliamente constatada en el sudeste bonaerense (Fernandez Grecco *et al.* 1995; Mazzanti *et al.* 1997). La fertilización nitrogenada de materiales capaces de crecer en ambientes térmicos invernales aparece, entonces, como una herramienta para incrementar la oferta forrajera durante el período crítico. Sin embargo, no solo es importante cuantificar la respuesta en crecimiento de forraje

a la fertilización nitrogenada sino también el destino del nitrógeno no capturado en el compartimiento de interés económico de manera de prever la posibilidad de efectos ambientales indeseables (Guaita *et al.* 1996). La recuperación y utilización del nitrógeno aplicado como fertilizante están asociadas a las condiciones climáticas, las que en gran medida regulan los mecanismos de pérdidas del sistema suelo planta (Garwood 1988).

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 pérdidas de nitrógeno tales como el lavado, la desnitrificación y la volatilización de NH_3 (Goh, Haynes 1986). Estos procesos afectan la eficiencia con que los cultivos utilizan el nitrógeno del fertilizante (Haynes 1986). Para que el nitrógeno proveniente de la urea se encuentre disponible para las plantas debe sufrir una serie de transformaciones. En suelos de aptitud agrícola de la región pampeana se ha determinado que la potencialidad de hidrólisis de la urea y la velocidades de amonificación y nitrificación son elevadas (Navarro *et al.* 1980; 1991). Además, se ha observado que la concentración de nitratos muestra marcadas fluctuaciones estacionales con valores máximos en verano, que decrecen en otoño y alcanzan los mínimos en invierno y comienzo de primavera (Vázquez, Barberis 1982). Para el cultivo de trigo, se ha determinado que el agregado de urea provoca un rápido incremento en la concentración de amonio y a pesar de que las pérdidas por volatilización son muy pequeñas, este desaparece rápidamente del sistema suelo, determinándose sólo una fracción del mismo bajo la forma de nitratos (Videla *et al.* 1996). Por lo tanto, se podría hipotetizar que, en ausencia de vegetación la mayor concentración de nitrógeno se encontraría en los meses de mayor temperatura combinado con adecuada disponibilidad hídrica (Echeverría *et al.* 1994), mientras que la presencia de una cubierta vegetal en crecimiento implicaría la absorción de nitrógeno del compartimiento mineral.

El agregado de nitrógeno en forma de fertilizante puede revertir la situación invernal de bajas concentraciones de nitrógeno asimilable por las plantas y si bien, hay una extensa bibliografía que aborda temas referidos

a la dinámica del nitrógeno en la planta (Gastal, Lemaire 1988, Belanger *et al.* 1992), falta información sobre la evolución de los contenidos y formas minerales de nitrógeno en suelos bajo pasturas durante el período invernal. En particular se desconoce si la presencia de plantas de festuca de diferente hábito de crecimiento, puede afectar la dinámica de las formas minerales de nitrógeno en suelos de aptitud ganadera. Por lo tanto, se plantea como objetivo, determinar la concentración de amonio y nitrato en profundidad para un suelo Natracuol Típico implantado con cultivares de festuca de tipo mediterráneo y templado, durante otoño e invierno, ante dosis crecientes de nitrógeno.

MATERIALES Y METODOS

El experimento se llevó a cabo en una pastura dominada por *Festuca arundinacea* Schreb. implantada en 1982 en la Estación Experimental Agropecuaria INTA de Balcarce (Lat. $37^{\circ}45'S$. Long. $58^{\circ}18'O$) sobre un suelo Natracuol Típico (Soil Survey Staff 1992) con una pendiente de 0,1%. El mismo presenta un horizonte A de 7 cm de espesor con pH 7,0 (relación suelo:agua 1:2,5) y 14 mg kg^{-1} de fósforo disponible, un horizonte B nátrico de pH 9,0 y un manto de carbonato de calcio compacto a los 80 cm de profundidad.

A fines de marzo de 1997 se realizó un control químico de malezas (Pictoram, 1 lt ha^{-1}) y a principios de mayo se adicionaron 30 kg P ha^{-1} , en forma de superfosfato triple de calcio, para asegurar condiciones nutricionales de fósforo no limitantes. Al inicio del período experimental las cubiertas presentaban una estructura caracterizada por unos, aproximadamente, $2000 \text{ macollos m}^{-2}$ de tamaño homogéneo.

El experimento se condujo en un diseño en parcelas divididas repetido en tres bloques completos. En la parcela principal se ubicaron dos cultivares de festuca (*El Palenque MAG* de tipo templado y *Maris Kasha* de tipo mediterráneo) y en la subparcela tres dosis de nitrógeno (0, 100 y 200 kg N ha^{-1}). La superficie de cada unidad experimental fue de seis m^2 ($1,5 \times 4 \text{ m}$).

El 20 de mayo se inició el experimento con el corte de todas las parcelas a una altura de 2-3 cm. Los tratamientos de nitrógeno fueron aplicados en forma dividida, junto con el corte inicial se distribuyó el 30% de la dosis y el 15 de julio se aplicó el 70% restante. En ambos casos, como fuente de nitrógeno se utilizó urea (46-0-0) distribuida en forma manual al voleo.

Los muestreos de suelo se realizaron, el primero 5 días antes y a los 4, 18 y 49 días desde la

Tabla 2. Contenido de nitrógeno como amonio (N-NH₄⁺) y como nitrato (N-NO₃⁻) en los 0-60 cm de suelo, para el efecto del nivel de cultivar (C) y de nitrógeno (N), durante el periodo en estudio.Table 2. Nitrogen ammonium (N-NH₄⁺) and nitrate (N-NO₃⁻) contents at 0-60 cm of soil depths, for the cultivar (C) and nitrogen (N) treatment, during the experimental period.

Cultivar	Nitrógeno	Fecha de muestreo									
		1F	24/5 4	7/6 18	8/7 49	2F	18/7 3	26/7 11	13/8 29	5/9 51	23/9 69
----- N-NH ₄ ⁺ (kg ha ⁻¹) -----											
EP	0		11,1	17,8	21,1		8,7	13,2	5,8	9,7	14,4
EP	100		33,3	24,0	25,0		28,1	26,8	18,5	16,5	25,1
EP	200		84,9	33,3	28,8		64,2	53,0	28,4	23,0	31,1
MK	0		13,7	12,8	18,7		10,8	10,2	6,8	9,8	14,8
MK	100		9,9	15,1	18,5		22,0	11,9	18,7	13,0	22,1
MK	200		66,7	15,4	18,4		64,0	23,4	21,9	17,4	11,9
		FV				ANVA					
Cultivar (C)			*	ns		ns			ns	ns	ns
Nitrógeno (N)			***	**		***			**	**	ns
C x N			ns	ns	**	ns			*	ns	ns
C V (%)			37	26	9	32			33	54	33
----- N-NO ₃ ⁻ (kg ha ⁻¹) -----											
EP	0		8,9	10,5	11,7		13,3	28,2	40,1	18,0	19,6
EP	100		12,2	13,1	13,7		32,0	49,4	64,4	36,1	23,0
EP	200		21,7	20,4	15,6		34,7	55,0	69,5	59,1	36,5
MK	0		10,1	13,7	15,2		19,3	25,7	42,8	28,4	14,3
MK	100		15,4	13,3	16,2		45,8	40,9	60,8	36,7	25,8
MK	200		28,6	18,77	17,2		70,2	76,1	71,1	76,8	23,9
		FV				ANVA					
Cultivar (C)			ns	ns	ns				ns	ns	ns
Nitrógeno (N)			*	***	**				***	***	*
C x N			ns	ns	ns	***			*	ns	ns
C V (%)			67	19	11	16			23	20	20

ANVA = análisis de la varianza. FV = fuente de variación. CV = coeficiente de variación.

***, **, * significativo al 1, 5 y 10 % de probabilidad, respectivamente. ns= no significativo.

y principios de invierno. Sin embargo, cuantitativamente, las diferencias en la cantidad de amonio debidas a efectos de cultivar fueron de escasa magnitud.

Para los tratamientos sin fertilización durante todo el periodo experimental, se determinó una disminución gradual en las concentraciones de amonio en los estratos del perfil del suelo. Para ambos cultivares se determinaron valores promedios de 2,4 (± 0,4), 1,6 (± 0,6), 1,3 (± 0,6) y 1,1 (± 0,3) mg N-NH₄⁺ kg⁻¹ para las profundidades de 0-10, 10-20, 20-40 y 40-60 cm, respectivamente. Considerando que la densidad del suelo incrementa en profundidad, los contenidos de nitrógeno como amonio fueron bajos y con escasa variación entre estratos (Figuras 1a y 2a). En los muestreos posteriores a la aplicación de urea, se determinaron grandes aumentos en los contenidos de amonio sólo en los primeros 10 cm de suelo (Figuras 1b, 1c, 2b y 2c), llegando para la dosis de 200 kg N ha⁻¹ a valores de

concentración de 41,1 (± 2,0) y 30,9 (± 1,9) mg kg⁻¹ N-NH₄⁺ para el promedio de los materiales luego de la primera y segunda fertilización, respectivamente.

Estos resultados permiten concluir que la presencia de cultivares de festuca con diferente patrón estacional de crecimiento, no afectan diferencialmente los contenidos de amonio en el suelo estudiado, mientras que el agregado de urea aumenta por un corto periodo dicha forma de nitrógeno mineral. Considerando el escaso lapso de tiempo entre la fertilización y el primer muestreo, estos resultados permiten afirmar que la velocidad de hidrólisis de urea de este suelo fue muy elevada. Además, es factible afirmar que en profundidad, las concentraciones de amonio disminuyen gradualmente.

Para ambos cultivares, se determinaron muy bajos contenidos de nitrógeno bajo la forma de nitrato en los tratamientos sin nitrógeno, hasta mediados de

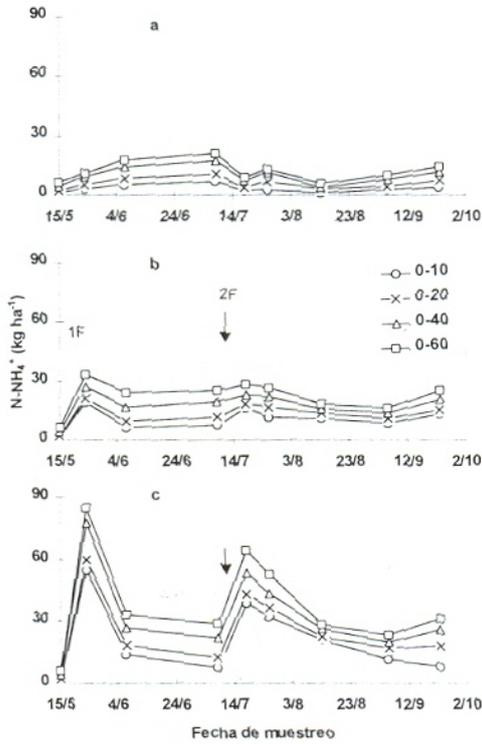


Figura 1. Evolución de los contenidos de nitrógeno en el suelo bajo la forma de amonio para las dosis de 0, 100 y 200 kg N ha⁻¹ para el cultivar El Palenque (a, b y c, respectivamente). 0-10, 10-20, 20-40 y 40-60 representan los distintos estratos en cm analizados. Las flechas indican el primer (1F) y el segundo (2F) momento de fertilización.

Figure 1. Evolution of soil ammonium nitrogen at fertilization rates of 0, 100 and 200 kg N ha⁻¹ for El Palenque cultivar (a, b and c, respectively). 0-10, 10-20, 20-40 and 40-60 represent the analysed depths in cm. Arrows indicate first (1 F) and second (2 F) fertilization moments.

julio. Luego, hacia mediados de agosto, se produjo un aumento en el contenido de nitrato (Tabla 2), que podría ser explicado por una aceleración de la nitrificación debida al aumento de la temperatura a partir de fines de julio (Tabla 1). A principios de septiembre, coincidentemente con el inicio del período de crecimiento más activo de las cubiertas de festuca no fertilizadas (Lattanzi, Mazzanti, 1997a), los contenidos de nitrato disminuyeron nuevamente (Tabla 2). Por lo tanto, si bien durante el período invernal el proceso de la mineralización de nitrógeno no es intenso (Echeverría *et al.* 1994), la cantidad de nitratos

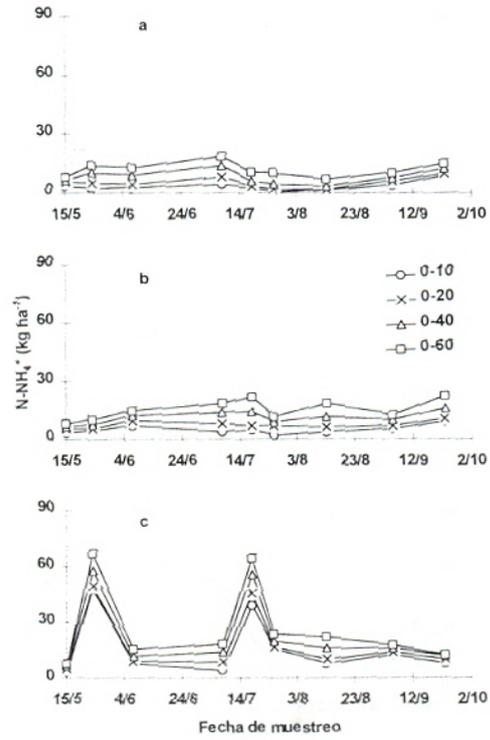


Figura 2. Evolución de los contenidos de nitrógeno en el suelo bajo la forma de amonio para las dosis de 0, 100 y 200 kg N ha⁻¹ para el cultivar Maris Kasba (a, b y c respectivamente). 0-10, 10-20, 20-40 y 40-60 representan los distintos estratos en cm analizados. Las flechas indican el primer (1F) y el segundo (2F) momento de fertilización.

Figure 2. Evolution of soil ammonium nitrogen content at rates of 0, 100 and 200 kg N ha⁻¹ for Maris Kasba cultivar (a, b and c, respectively). 0-10, 10-20, 20-40 and 40-60 represent the depth analysed in cm. Arrows indicate first (1 F) and second (2 F) fertilization moment.

en el suelo dependerá de la demanda por parte de la pastura, ya que en ausencia de crecimiento activo se puede producir acumulación de los mismos en el suelo.

Luego de la primera fertilización, no se determinó efecto de cultivar sobre los contenidos de nitratos, mientras que el efecto de fertilización fue significativo y dependiente de la dosis aplicada (Tabla 2). Luego de la segunda fertilización, los contenidos de nitrógeno como nitrato fueron mayores para el cultivar Maris Kasba con respecto a El Palenque (interacción C x N significativa el 18 y 26 de julio), a pesar de la mayor tasa de

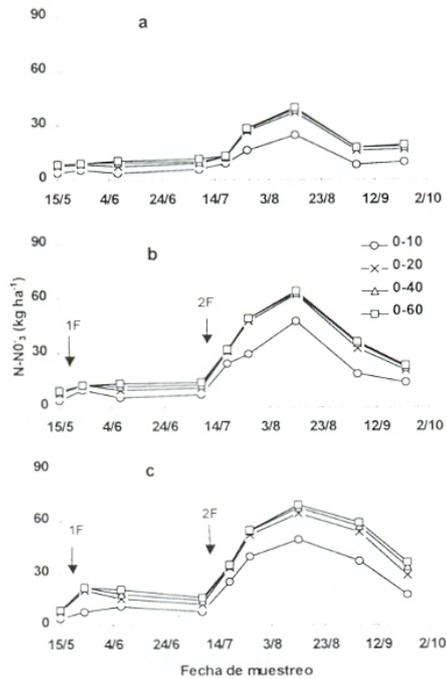


Figura 3. Evolución de los contenidos de nitrógeno en el suelo bajo la forma de nitrato para las dosis de 0, 100 y 200 kg N ha⁻¹ para el cultivar El Palenque (a, b y c respectivamente). 0-10, 10-20, 20-40 y 40-60 representan los distintos estratos en cm analizados. Las flechas indican el primer (1F) y el segundo (2F) momento de fertilización.

Figure 3. Evolution of soil nitrate nitrogen at fertilization rates of 0, 100 and 200 kg N ha⁻¹ for El Palenque cultivar (a, b and c, respectively). 0-10, 10-20, 20-40 and 40-60 represent the analysed depths in cm. Arrows indicate first (1 F) and second (2 F) fertilization moment.

crecimiento del primero en el período mencionado.

A partir de mediados de agosto, se determinó que los contenidos de nitrógeno como nitrato disminuyeron en todos los tratamientos (Tabla 2). No se observó diferencia en la dinámica de desaparición de nitratos en función del tipo de los cultivares, a pesar de que durante este período los tratamientos fertilizados de El Palenque crecieron a mayor tasa que los de Maris Kasba (Lattanzi, Mazzanti 1997a). Por lo tanto, si bien para los testigos se observó que Maris Kasba provocó un contenido de nitrato a fin del

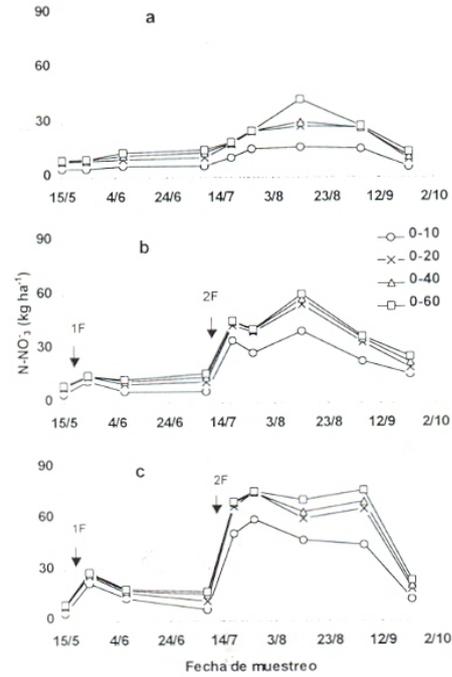


Figura 4. Evolución de los contenidos de nitrógeno en el suelo bajo la forma de nitrato para las dosis de 0, 100 y 200 kg N ha⁻¹ para el cultivar Maris Kasba (a, b y c respectivamente). 0-10, 10-20, 20-40 y 40-60 representan los distintos estratos en cm analizados. Las flechas indican el primer (1F) y el segundo (2F) momento de fertilización.

Figure 4. Evolution of soil nitrate nitrogen at fertilization rates of 0, 100 and 200 kg N ha⁻¹ for Maris Kasba cultivar (a, b and c, respectively). 0-10, 10-20, 20-40 and 40-60 represent the analysed depths in cm. Arrows indicate first (1 F) and second (2 F) fertilization moments.

invierno algo menor, no es posible afirmar que la residualidad de nitrógeno difirió marcadamente ante la presencia de cultivares de festuca con diferente patrón estacional de crecimiento.

Para los tratamientos sin fertilización, hasta mediados de julio se determinó una disminución gradual en las concentraciones de nitratos en los estratos del perfil del suelo estudiado. Para ambos cultivares se determinaron valores promedio de 4,3 ($\pm 0,4$), 2,9 ($\pm 0,2$), 1,1 ($\pm 0,6$) y 0,8 ($\pm 0,5$) mg N-NO₃⁻ kg⁻¹ para las profundidades de 0-10, 10-20, 20-40 y 40-60 cm, respectivamente. Por lo tanto,

los contenidos de nitratos fueron bajos y disminuyeron en profundidad. Para los muestreos realizados posteriormente, las concentraciones de nitratos prácticamente se duplicaron, manteniendo similar patrón de distribución (Figuras 3a y 4a).

En los tratamientos en los que se aplicó la mayor dosis de nitrógeno, se determinaron concentraciones promedio de 37,2 ($\pm 3,8$), 11,9 ($\pm 2,2$), 2,2 ($\pm 1,1$) y 2,2 ($\pm 1,5$) mg N-NO₃ kg⁻¹ para las profundidades de 0-10, 10-20, 20-40 y 40-60 cm, respectivamente, para el período fin de julio a principio de septiembre. Estos resultados permiten concluir que los contenidos de nitratos por debajo de los 20 cm de profundidad son bajos (Figura 3 b, 3c, 4b y 4c) y constituyen una evidencia de que no existió lixiviación de dicho anión en las condiciones de relativamente alta humedad de este experimento, aún a la dosis de 200 kg nitrógeno ha⁻¹. Además, indicarían que, en el corto plazo, en este tipo de suelos los peligros de contaminación de napas de agua con nitrato serían muy bajos, ante aportes estratégicos de nitrógeno.

Como se mencionó, la adición de nitrógeno provocó aumentos en los contenidos de nitrato en los primeros 20 cm de suelo (Figuras 3b, 3c, 4b y 4c). Este comportamiento permite suponer que la velocidad de la transformación del amonio a nitrato fue relativamente rápida a pesar de las bajas temperaturas en los momentos posteriores a la fertilización (Tabla 1). Otros autores han obtenido resultados coincidentes para suelos bajo pasturas (Speir *et al.* 1980; Reynolds *et al.* 1985). Altas tasas de hidrólisis de urea y elevada población de organismos nitrificadores (Navarro *et al.* 1980; 1991) explicarían esta dinámica de las formas minerales de nitrógeno en el suelo.

Los destinos del amonio en el suelo serían: volatilización, absorción por la pastura, nitrificación e inmovilización. Para suelos similares a los de esta experiencia Barbieri y Echeverría (2000) determinaron escasas pérdidas por volatilización de amoníaco. De igual manera, durante los cortos períodos en los cuales se produjo la caída en la concentración de amonio, la acumulación de nitrógeno en las cubiertas vegetales fue de poca magnitud (Lattanzi, Mazzanti 1997b). Por

lo tanto, estos mecanismos no explican la rápida desaparición del amonio observada. Además, luego de la primera fertilización el aumento del nitrógeno como nitrato no fue muy marcado (Figuras 3b, 3c, 4b y 4c), indicando que la desaparición del amonio no se reflejó en una acumulación de nitratos. A diferencia de esto, después de la segunda fertilización, sí se observó un aumento del nitrógeno como nitrato, proporcional a la dosis empleada (Figuras 3b, 3c, 4b y 4c). De todos modos, sólo una fracción del amonio se transformó a nitrato luego de la segunda aplicación de urea (caídas del nitrógeno como amonio de entre 33 y 58 kg N ha⁻¹, para la dosis de 100 y 200 kg N ha⁻¹, se correspondieron con aumentos de tan solo 3,5 kg N ha⁻¹ como nitrato). Estos resultados sugerirían que parte del amonio tuvo como probable destino la inmovilización microbiana o alguna otra fracción de nitrógeno orgánico lábil (Zogal, Persson 1994). Esta hipótesis coincide con lo hallado por Videla *et al.* (1996) en un suelo de aptitud agrícola, quienes tampoco lograron identificar compartimientos minerales de nitrógeno como el destino de la mayor parte del amonio proveniente de la urea.

CONCLUSIONES

Bajo una cubierta densa de festuca no fertilizada, la disponibilidad de las formas minerales de nitrógeno fue baja, durante la mayor parte del período otoño invernal evaluado. La presencia de cultivares de festuca con diferente patrón estacional de crecimiento, no afectaron de manera diferencial y consistente los contenidos de amonio o nitrato. Por el contrario, el agregado de urea por fertilización aumentó significativamente y por un corto período, en los primeros 20 cm del suelo, los contenidos de amonio y en menor magnitud los de nitrato. Además, es factible afirmar que en profundidad, las concentraciones tanto de amonio como de nitrato disminuyen gradualmente. Por último, se concluye que las velocidades de hidrólisis de la urea y de la oxidación del amonio fueron rápidas, a pesar de las bajas temperaturas posteriores a la fertilización.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado por el Proyecto de Investigación de la Facultad de Ciencias

Agrarias (UNMP) 15/A107.

REFERENCIAS

- Barbieri PA, Echeverría HE. 2000. Evolución de las pérdidas por volatilización de amoníaco desde urea aplicada en otoño a una pastura perenne. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Buenos Aires. Actas en CD, 4 pág.
- Belanger G, Gastal F, Lemaire G. 1992. Growth analysis of a tall fescue sward fertilised with different rates of nitrogen. *Crop Science*, 32:1371-1376.
- Bremner JM 1965. Inorganic forms of nitrogen. *En*: C A Black, Ed. Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy N° 9. Am. Soc. Agron., Inc. Publisher, Madison, Wisconsin, USA: 1179-1237.
- Echeverría HE, Bergonzi R, Ferrari J. 1994. Un modelo para estimar la mineralización del nitrógeno en suelos del Sudeste de la Provincia de Buenos Aires (Argentina). *Ciencia del Suelo*, 12:56-62.
- Fernandez Greco RC, Mazzanti A, Echeverría HE. 1995. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento primaveral de forraje de un pastizal natural de la pampa deprimida bonaerense (Argentina). *Rev. Arg. Prod. Animal*, 15:173-176.
- Garwood EA. 1988. Water deficiency and excess in grassland: The implications for grass production and for the efficiency of use of N. Nitrogen and water use by grassland. Ed. R. Wilkins. Proceedings of a colloquium held to mark the retirements from the Institute From Grassland and Animal production of E. Garwood and J. Morrison. pp24-42.
- Gastal F, Lemaire G. 1988. Study of a tall fescue sward grown under nitrogen deficiency conditions. Proceedings of the 12th General Meeting of the European Grassland Federation. Dublin, Ireland. 323-327.
- Goh KM, Haynes RJ. 1986. Nitrogen and Agronomic Practice. *En*: Mineral nitrogen in the plant-soil system. 7:379-442.
- Guaita MS, Escuder CJ, Echeverría HE. 1996. Fertilización de una pastura de raigrás perenne y trébol rojo: I. Nivel de nitrógeno y frecuencia de corte. *Rev. Arg. Prod. Anim.*, 16:253-260.
- Haynes RJ. 1986. Uptake and assimilation of mineral nitrogen by plants. *En*: Mineral nitrogen in the plant-soil system (Ed. R.J. Haynes). Academic Press, London, UK. pp. 303-378.
- Lattanzi F, Mazzanti A. 1997a. Fertilización nitrogenada en pasturas de Festuca arundinacea de tipo templado y mediterráneo. I. Crecimiento otoño-invernal. *Rev. Arg. Prod. Animal*, 17:166-167.
- Lattanzi F, Mazzanti A. 1997b. Fertilización nitrogenada en pasturas de Festuca arundinacea de tipo templado y mediterráneo. 2. Acumulación de nitrógeno. *Rev. Arg. Prod. Animal*, 17:167-168.
- MacColl D, Cooper JP. 1967. Climatic variation in forrage grasses III. Seasonal changes in growth and assimilation in climatic races of *Lolium*, *Dactylis* and *Festuca*. *J. Applied Ecology*, 4:113-127.
- Mazzanti A, Arosteguy JC. 1985. Comparación del rendimiento estacional de forraje de cultivares de *Festuca arundinacea* Schreb. *Rev. Arg. Prod. Animal*, 5:157-165.
- Mazzanti A, Marino MA, Lattanzi F, Echeverría HE, Andrade F. 1997. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento y la calidad del forraje de avena y raigrás anual en el Sudeste Bonaerense. Boletín Técnico número 143 EEA Balcarce, CERBAS, INTA. 28 pp.
- Navarro, CA, Echeverría, HE, González, N, Iglesias, M. 1980. Cinética de las reacciones de amonificación y nitrificación en algunos suelos de la Argentina. *En*: Actas "IX Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo", Paraná. 15-21 Sept. De 1980. pp. 431-437.
- Navarro, CA, Echeverría HE, Fonalleras MI, Manavella F. 1991. Efecto de los contenidos de humedad sobre la mineralización de nitrógeno en suelos del Sudeste Bonaerense. *Ciencia del Suelo*, 9:13-19.
- Reynolds CM, Wolf DC. 1985. Factors related to urea hydrolysis in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49:104-108.
- Speir TW, Lee R, Pansier EA, Cairns A. 1980. A comparison of sulphatase urease and protease activities in planted and fallow soils. *Soil Biol. Biochem.* 12:281-291.
- Soil Survey Staff, 1992. Keys to Soil Taxonomy Sixth Edition. SCS, USDA P.O. Box Washington, D.C. 20013 305 pp.
- Vázquez ME, Barberis LA. 1982. Variación estacional de la concentración de nitratos en el suelo. *Revista Argentina de Investigaciones Agropecuarias INTA*, 17:13-22.
- Vázquez PM, Costa JL, Cabria FN, Godz P. 1998. Arada profunda II: Efecto sobre algunas propiedades físicas y el crecimiento radical. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Villa Carlos Paz, Córdoba. pp 15-16.
- Videla C, Ferrari J, Echeverría HE, Travasso MI. 1996. Transformaciones del nitrógeno en el cultivo de trigo. *Ciencia del Suelo*, 14:1-6.
- Zogal E, Persson J. 1994. Immobilization and remineralization of nitrate during glucose decomposition at four rates of nitrogen addition. *Soil Biol. Biochem.*, 26:1313-1321.