

DESTINO DEL ^{15}N DEL FERTILIZANTE APLICADO AL TRIGO DURANTE DOS AÑOS CONSECUTIVOS EN CONDICIONES SEMIARIDAS

M. A. Lazzari*, G. C. Laurent* y R. L. Victoria**

* *Lab. Laboratorio de Humus y Biodinámica del Suelo, LAHBIS, (sell) Universidad Nacional del Sur, 8000. Bahía Blanca, Argentina.*

** *Centro de Energía Nuclear en Agricultura, CENA. Universidad de San Pablo, 13400. Piracicaba, Brasil.*

RESUMEN

La experiencia fué conducida con la finalidad de conocer el destino del ^{15}N del fertilizante $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, aplicado al cultivo de trigo (*Triticum aestivum* cv. Buck Pucará) en tres estadíos diferentes de su desarrollo y durante 2 años consecutivos, 1983 y 1984. Se utilizó un diseño sin interacción planta-fertilizante, donde la única diferencia entre subtratamientos consistió en la época de aplicación del fertilizante marcado con ^{15}N . Al finalizar la segunda cosecha fue obtenido el balance del ^{15}N en el sistema suelo-planta, estimándose las pérdidas del nutriente, las que ocurrieron principalmente por vía gaseosa. Este experimento se llevó a cabo en lisímetros de campo que contenían suelo "Haplustol típico, característico de la zona semiárida de la Provincia de Buenos Aires.

Palabras clave: ^{15}N , trigo, % N ddf, balance de N, % en la eficacia de uso del fertilizante.

SUMMARY

FATE OF ^{15}N -LABELLED FERTILIZER APPLIED TO WHEAT DURING TWO CONSECUTIVE YEARS, IN A SEMIARID REGION

The experiment was conducted to know the fate of ^{15}N labelled $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ applied to wheat crop (*Triticum aestivum* cv. Buck Pucará) at three different plant development stages and during two years, 1983 and 1984. An experimental design without plant-fertilizer interaction was utilized being the difference between treatments the time of ^{15}N -labelled fertilizer application. The ^{15}N balance in the soil-plant system after the second harvest was calculated and losses were estimated. These occurred mainly under gaseous forms. The experiment was carried out in field lysimeters which contained "Haplustol Tipic" soil from semiarid zone of Buenos Aires province.

Key words: ^{15}N , wheat, % N dff, N balance, %N fertilizer use efficiency.

INTRODUCCION

El elevado precio de los fertilizantes ha condicionado el desarrollo de prácticas culturales que permiten un mayor aprovechamiento del fertilizante. Este trabajo ha sido financiado por el CONICET (Resol. 1509 y 1657/84).

zante por el cultivo con un mínimo de pérdidas, debidas a reacciones entre el suelo y el fertilizante. Una forma de aumentar la eficiencia del uso del fertilizante por la planta es conocer el momento más apropiado de aplicación de aquél, además de comprender y predecir los cambios en el ciclo del N durante el cultivo.

Los estudios sobre el llamado "balance de N" contribuyen al conocimiento del ciclo de N (Legg y Meisinger, 1982) a través de la cuantificación de la recuperación del nutriente aplicado al sistema y de la evaluación de sus pérdidas. Según Broadbent (1981) la mejor metodología para obtener realísticamente el balance de N bajo condiciones de campo es la basada en el uso de lisímetros, que presentan las ventajas

de poder medir el agua de percolación o lavado, además del N recuperado por el sistema suelo-planta. Como ejemplo de este tipo de estudios pueden mencionarse las experiencias de Chichester y Smith (1978), Jones *et al.* (1977), Dowdell y Webster (1980), Lazzari (1982).

La experiencia que aquí se describe se diseñó con el fin de determinar el destino del nitrógeno del fertilizante marcado, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, aplicado al cultivo de trigo (*Triticum aestivum* cv. Buck Pucará) en tres estadíos fenológicos, durante dos años consecutivos, 1983 y 1984. La experiencia se llevó a cabo en pequeños lisímetros de campo que contenían suelo de la región semiárida pampeana.

MATERIAL Y METODOS

Los estudios realizados durante los años 1983 y 1984 fueron conducidos en pequeños lisímetros (0.36 m² de superficie y 0.60 m de profundidad), ubicados en el campo experimental del Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur. El suelo, introducido en los lisímetros, es un Haplustol típico. La descripción del sitio y clima, las prácticas culturales, la obtención de muestras de vegetal y sus análisis fueron descritas anteriormente (Laurent y Lazzari, 1991). Brevemente, se recuerda que el tratamiento fertilizado (con 150 kg N ha⁻¹) fue subdividido en 3 subtratamientos (F₁, F₂ y F₃) iguales en cuanto a la aplicación del sulfato de amonio y al rendimiento del cultivo, pero diferentes en cuanto a la adición de un tercio (50 kg N ha⁻¹ año⁻¹) del

total del fertilizante en cada una de las tres etapas de desarrollo del trigo (*Triticum aestivum* cv. Buck Pucará): Siembra, fin de macollaje y estado de hoja bandera visible, que se realizó con sulfato de amonio marcado con ¹⁵N. Además, las plantas cosechadas incluyeron las raíces adheridas, que fueron separadas del resto de las plantas, lavadas, secadas a 60 °C, molidas y analizadas para N total y relación ¹⁴N/¹⁵N como las restantes muestras de material vegetal.

Finalizado el segundo ciclo del trigo (diciembre de 1984) se extrajo cada capa de suelo introducido en los lisímetros, se pesó, mezcló y tomó una submuestra antes de volver a introducirlo en el respectivo lisímetro (Carter *et al.*, 1967). Las muestras fueron secadas al aire y a la sombra, tamizadas por 100 mesh

y analizadas. El N total fue determinado por el método semimicro Kjeldahl modificado para incluir NO_3^- , NO_2^- y NH_4^+ con KMnO_4 y Fe reducido (Bremner y Edwards, 1965).

El agua de percolación, evacuada toda vez que se produjeron lluvias importantes, se recolectó en recipientes de plástico y se registró su volumen. El N total se determinó reduciendo los NO_3^- con aleación Devarda y destilando el NH_4^+ con MgO (Keeney y Nelson, 1982).

Los destilados de las muestras de suelo y agua de percolación fueron reducidos a un volumen de 2 ml después de la adición de ácido sulfúrico concentrado y analizado para la relación isotópica $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$, previa oxidación del NH_4 a N_2 con hipobromito de sodio en ampolla Rittenberg, por espectrometría de masas. Se realizaron 2 determinaciones de N total y $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ por muestra, promediándose cuatro datos por subtratamiento.

RESULTADOS Y DISCUSION

^{15}N derivado del fertilizante en la planta (% Nddf)

Como se observa en la Tabla 1, los valores de % Nddf de las distin-

tas partes de las plantas de trigo en los subtratamientos F_1 y F_2 de 1983 y 1984, no presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$). Evi-

TABLA 1

Porcentaje de N derivado del fertilizante marcado (% Nddf) en diferentes partes de la planta de trigo, a la madurez.

Parte de la planta	Subtratamientos		
	F_1	F_2	F_3
Año 1983 (50 kg ^{15}N ha $^{-1}$)			
Grano	15.54 a c*	16.15 a c	13.80 a c
Paja	14.63 a c	12.85 a c	7.40 b c
Raiz	13.61 a c	9.60 b c	10.10 b c
Año 1984 (^{15}N res. ⁽¹⁾ + 50 kg ^{15}N ha $^{-1}$)			
Grano	16.09 a c	18.25 a c	24.68 b c
Paja	16.16 a c	18.04 a c	14.08 a cd
Raiz	20.28 a c	20.20 a c	12.66 b d

* Las letras diferentes dentro de la fila (ab) o dentro de la columna (cd) indican diferencia significativa (Test de Student $P < 0.05$).

(1) Indica ^{15}N remanente en el suelo de la aplicación del año anterior.

dentamente, el N del fertilizante marcado adicionado a la siembra (F_1) y al macollaje (F_2) quedó distribuido uniformemente en toda la planta, incluidas las raíces. Este comportamiento del N del fertilizante para los subtratamientos F_1 y F_2 podría corroborar lo expresado por Rawson y Donald (1969) con respecto a un reacomodamiento del N dentro de la planta y a un movimiento del N del fertilizante desde la parte superior, especialmente tallo principal y macollos primarios, hacia las respectivas raíces.

En el subtratamiento F_3 de 1983, se observan diferencias (aunque no significativas, $P < 0.05$) entre las diferentes partes analizadas. En 1984, el % Nddf de las raíces fue significativamente menor ($P < 0.05$) al del grano. El N aplicado tardíamente (hoja bandera justo visible) y en presencia de una buena humedad del suelo (ciclo 1984) tuvo un destino más directo hacia el grano, quedando las raíces de F_3 con un % Nddf significativamente inferior ($P < 0.05$) a las raíces de F_1 y F_2 .

En 1983, año relativamente seco (ver el primer trabajo de esta serie), F_2 presentó un % Nddf en raíces similar al mismo valor en F_3 . La poca disponibilidad de agua sufrida después de encañazón pudo haber deprimido la absorción del N del fertilizante marcado y además, causado pérdidas de N de raíces en forma de exudados. En cambio, en 1984, con mejor disponibilidad de agua, el % Nddf en raíces de F_2 se asemeja a F_1 . Probablemente ha habido un mayor crecimiento del área radicular y en consecuencia una mayor absorción del ^{15}N del fertilizante adicionado y residual (disponible de la aplica-

ción del año 1983). De allí que los % Nddf del año 1984 fueron mayores a los del año anterior, especialmente en F_3 .

En la Tabla 2 se presentan los resultados del rendimiento de N del fertilizante marcado por el área de los lisímetros, al final de los ciclos 1983 y 1984. Se observa que el principal destinatario del ^{15}N aplicado en F_1 , F_2 y F_3 ha sido indudablemente el grano. En 1983, fue F_1 el subtratamiento que absorbió más ^{15}N del fertilizante (668 mg el grano y 89.3 mg la paja). F_3 acumuló más N del fertilizante marcado en el grano (491.1 mg) en relación a la paja (43.9 mg).

En 1984, fue F_3 el que absorbió más ^{15}N del fertilizante aplicado (y residual) y el que proporcionó un rendimiento del grano superior ($P < 0.05$) a F_1 y F_2 . En este segundo año, con una mayor disponibilidad de agua, no sólo el N adicionado tardíamente (F_3) tuvo un camino más directo hacia el grano sino que también se absorbió en mayor cantidad. Esto conduce a pensar que el N aplicado temprano estimula el crecimiento vegetativo y de la materia seca. Mientras que el N adicionado tardíamente es trasladado preferencialmente hacia el grano, lo que conduciría a un incremento de la proteína de esta parte de la planta, corroborando lo expresado en el primer trabajo de esta serie.

^{15}N del fertilizante en el suelo

De los resultados presentados en la Tabla 3, surge que la mayor parte del ^{15}N del fertilizante residual, aquél que permaneció en el suelo después de dos aplicaciones de ^{15}N (de 50 kg ^{15}N ha $^{-1}$ cada una) y de dos cose-

TABLA 2

Contenido de N del fertilizante marcado (mg por área cosechada) en diferentes partes de la planta de trigo, a la madurez.

Parte de la planta	Subtratamiento		
	F ₁	F ₂	F ₃
Año 1983 (50 kg ^{15}N ha ⁻¹)			
Grano	668.0 a*	580.4 a	491.1 b
Paja	89.3 a	74.0 a	43.9 b
Subtotal	757.3 a	654.4 a	535.0 b
Año 1984 (^{15}N res. ⁽¹⁾ + 50 kg ^{15}N ha ⁻¹)			
Grano	636.3 a	680.5 ab	881.8 b
Paja	103.2 a	117.8 a	94.3 a
Subtotal	739.5 a	798.3 ab	976.1 b
Total.	1496.8	1452.7	1511.1

* Las letras diferentes dentro de la fila indican diferencia significativa (Test de Student $P < 0.05$).

(1) Indica ^{15}N remanente en el suelo de la aplicación del año anterior.

TABLA 3

Contenido de n total y del fertilizante marcado (g por lisímetro), en el suelo después de dos cosechas consecutivas de trigo.

Subtratamiento de N	Profundidad (cm)						Total N fert.
	0 - 20		20 - 40		40 - 55		
	N total	N fert.	N total	N fert.	N total	N fert.	
F ₁	127.10	0.792	93.31	0.059	60.91	0.055	0.906 a*
F ₂	124.54	0.767	93.95	0.046	59.62	0.044	0.857 a
F ₃	121.85	0.735	93.10	0.038	66.01	0.025	0.798 a

* Las letras diferentes dentro de la columna indican diferencia significativa (Test de Student $P < 0.05$).

chas de trigo, quedó retenida en los 20 cm superficiales de suelo (ca. 98 % del total presente en el perfil).

No se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las cantidades de ^{15}N residual en el suelo, en los distintos subtratamientos. El movimiento de N hacia las capas subsuperficiales fue escaso y por ello, las pérdidas de N marcado en el agua de percolación (Tabla 4) fueron despreciables.

^{15}N del fertilizante en el agua de drenaje

Los niveles de N en el agua de drenaje, recolectada luego de lluvias importantes, se aprecian en la Tabla 4. Los incrementos, en volumen, del agua de percolación están asociados no sólo a las fuertes precipitaciones sino al contenido de humedad del suelo cuando el mismo permanece desnudo (sin cultivo). Así, la mayor cantidad de agua percolada se registró en los meses de junio (antes de la siembra del trigo) y julio (el trigo recién sembrado) de 1984. Las dife-

rencias de los volúmenes de agua registrados entre lisímetros posiblemente fue debido a una diferente compactación del suelo introducido en los lisímetros.

Los ensayos llevados a cabo por distintos autores (en condiciones semejantes a las nuestras) han dado como resultado pérdidas prácticamente nulas de agua de lavado (Zamyatina, 1971; Westerman y Kurtz, 1972). Según Guiot (1974), no existe pérdida de N por debajo de la zona radicular en un cultivo de trigo. De acuerdo a la Tabla 4, se puede pensar que no hubo prácticamente pérdida de ^{15}N por lavado durante la realización de nuestra experiencia, ya que sólo se detectaron trazas de ese isótopo.

Balance de ^{15}N del fertilizante después de la segunda cosecha de trigo

Considerando despreciables las pérdidas de ^{15}N por lavado, la suma de lo removido por las dos cosechas de trigo y de lo que quedó presente en el suelo, proporcionó la recupe-

TABLA 4

Contenido de N del fertilizante marcado en el agua de drenaje de los lisímetros.

Fecha extracción	Lisímetro número	Agua de drenaje (mm)	N inorgánico total (mg)	^{15}N del fert. (mg)
06-06-84	5 (F ₃)*	2.03	1.9	0.04
	7 (F ₁)	1.74	0.4	—
	2 (F ₃)	5.55	2.5	0.07
12-07-84	3 (F ₂)	11.38	5.3	0.12
	5 (F ₃)	5.00	1.3	0.04
	8 (F ₂)	3.88	1.5	0.03

* Indica el subtratamiento a que fue sometido el lisímetro.

TABLA 5

Balance general del N del fertilizante marcado, despues de dos cosechas consecutivas de trigo.

Subtratamiento de N	Removido por planta 1983 + 1984	Remanente en el suelo (0-55 cm)	Total recuperado	No recuperado
% N fertilizante marcado*				
F ₁	38.9	25.2	64.1	35.9
F ₂	38.9	23.8	62.6	37.4
F ₃	40.6	22.2	62.8	37.2

* Total adicionado: 3.8 g ^{15}N / lisímetro (100 %N).

ración total del isótopo de N en el sistema estudiado. Las plantas recuperaron entre 38 y 40% del N del fertilizante marcado. Si bien se trabajó en condiciones de semiaridez, la eficiencia del ^{15}N resultó bastante baja. Por ejemplo, Campbell y Paul (1978), quienes trabajaron con trigo en condiciones similares a las nuestras y con aplicaciones de N que variaron entre 40 y 164 kg N ha⁻¹, obtuvieron una recuperación promedio de la parte aérea de las plantas de 49.5%; 2.6% de las raíces, 34.6% del suelo y una pérdida (que no fue por lavado) del 7%.

Los resultados presentados en la Tabla 5 no muestran la influencia del año climático (1983 y 1984) y de los diferentes subtratamientos sobre la eficiencia en el uso del ^{15}N del fertilizante.

El suelo de los lisímetros retuvo entre 22.2% y 25.2% de las aplicaciones de ^{15}N y la mayor parte quedó retenida en los primeros 20 cm de suelo. Las cantidades retenidas por el mismo, de experiencias conducidas

por otros investigadores que contribuyeron a estos resultados probablemente incluyeron el uso de cantidades moderadas de NH_4^+ marcado, aplicaciones sobre la superficie del suelo, textura franco arenosa, pH cercano a la neutralidad, presencia de concreciones calcáreas y lluvias moderadas.

Los datos presentados en la Tabla 5 muestran que una proporción sustancial (ca. 37%) del N marcado se perdió del sistema. Esta pérdida incluye errores acumulativos de muestreo, preparación de las muestras y análisis. También incluye el N remanente en las raíces adheridas a las plantas cosechadas, las que se extrajeron en forma no cuantitativa. Parton *et al.*, (1988) sugirieron que una porción del N no encontrado en estudios de balance de N (en sistemas con trigo) puede deberse a pérdidas de N-NH₃ gaseoso desde las plantas, las que al aproximarse a la madurez y acelerarse la senescencia, soportan la hidrólisis de las proteínas a aminoácidos y aminas, proceso que

contribuye a la volatilización del NH_3 . Otra razón posible de que la recuperación total del N marcado resultó más baja que aquella observada por otros investigadores (Olson *et al.*, 1979; Olson y Swallow, 1984), quienes obtuvieron los resultados determinando las cantidades de ^{15}N en el suelo inmediatamente después de la cosecha del cultivo, es que en nuestro caso el ^{15}N no recuperado incluye también a ese elemento perdido entre dos estaciones de crecimiento. Además, nuestro sistema recibió cada año N marcado adicional, en una proporción dos veces mayor al ^{15}N adicionado.

Indudablemente, la mayor parte del ^{15}N perdido del sistema fue causado por pérdidas gaseosas, o sea por volatilización del amonio y desnitrificación. Martín y Chapman (1951) concluyeron que las pérdidas por volatilización son fuertemente dependientes del pH del suelo y de la velocidad de secado del mismo. Además, no deben despreciarse cuando se aplica sulfato de amonio sobre la superficie de los suelos que con-

tienen carbonato de calcio, aunque éste se encuentre en bajas concentraciones (Riga *et al.*, 1980). Broadbent y Nakashima (1968) encontraron pérdidas del 24-39% cuando el sulfato de amonio era aplicado sobre la superficie del suelo. Olson (1987) estableció que una porción significativa del N del fertilizante era inmovilizada cerca del punto de aplicación (en nuestro caso, en superficie) lo que limita el movimiento descendente del N haciéndolo menos disponible y favoreciendo las pérdidas por vía gaseosa. Por otro lado, aún en zonas áridas, semiáridas o desérticas, donde los suelos están bien aireados y se encuentran por debajo de la capacidad de campo, pueden ocurrir condiciones de anaerobiosis temporales, después de las lluvias, que favorezcan la desnitrificación (Feigenbaum *et al.*, 1984). Por último, no debería descartarse la pérdida ocasionada por la fijación de iones NH_4^+ en las arcillas del suelo, del tipo montmorillonítico con estructura interstratificada (Helmi *et al.*, 1984).

CONCLUSIONES

Es de destacar que menos de la mitad de ^{15}N del fertilizante aplicado durante dos años fue recuperado por los dos cultivos de trigo. A su vez, con una buena humedad del suelo (como durante el ciclo 1984), el N aplicado tardíamente (F_3) estaría fácilmente disponible para las plantas, absorbiéndose con un destino más directo hacia el grano. Tratándose de una región semiárida, el éxito de esta hipótesis estaría relacionado

directamente a la humedad del suelo durante el desarrollo del cultivo.

Por otro lado, es notable que el suelo de los lisímetros sólo mantuviera ca. 24% del ^{15}N aplicado durante dos años, de los cuales ca. 89% permaneció en los primeros 20 cm superficiales. Siendo despreciables las pérdidas por lavado, llama la atención que el ^{15}N perdido del sistema ascienda a ca. 37%. La volatilización del amonio, principalmente, y otras

pérdidas gaseosas son las responsables de tales pérdidas. En las regiones semiáridas el uso de sulfato de amonio en las prácticas de fertilización requeriría precauciones especiales para evitar pérdidas del nutriente por vía gaseosa.

BIBLIOGRAFIA

- BREMNER, J. M. and EDWARDS, A. P., 1965. Determination and isotope analysis of different forms of nitrogen in soils: I-Apparatus and procedure for distillation and determination of ammonium. *Soil Sci. Proc.*, 29: 504-507.
- BROADBENT, F. E., 1981. Methodology for nitrogen transformation and balance in soil. *Plant and Soil*, 58: 383-399.
- BROADBENT, F. E. and NAKASHIMA, T., 1965. Plant recovery of immobilized nitrogen in greenhouse experiments. *Soil Sci. Am. Proc.*, 29: 55-60.
- CAMPBELL, C. A. and PAUL, E. A., 1978. Effects of fertilizer nitrogen and soil moisture on mineralization, N recovery and A-values, under spring wheat grown in small lysimeters. *Can. J. Soil Sci.*, 58: 39-51.
- CHICHESTER, F. W. and SMITH, S. J., 1978. Disposition of ^{15}N labelled fertilizer nitrate applied during corn culture in field lysimeters. *J. Environ. Qual.*, 7: 227-233.
- CARTER, J. N., BENNETT, O. L. and PEARSON, R. W., 1967. Recovery of fertilizer nitrogen under field conditions using Nitrogen-15. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 31: 50-56.
- DOWDELL, J. R. and WEBSTER, C. P., 1980. A lysimeter study using nitrogen-15 on the uptake of fertilizer nitrogen by perennial ryegrass swards and losses by leaching. *J. Soil Sci.*, 31: 65-75.
- FEIGENBAUM, S., SELIGMAN, N. G. and BENJAMIN, R. W., 1984. Fate of Nitrogen-15 applied to spring wheat grown for three consecutive years in a semiarid region. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48: 838-843.
- GUIOT, J., 1974. La migration de l'azote dans le sol. En: *Sem. Etud. Sol et Fertilisation*, 1973. *Bull. Rech. Agron. Gembloux. H. S.*: 378-385.
- HELMI, A. K., PEINEMAN, N. and ANDREOLI, C. Y., 1984. Use of the (02,11) X-Ray diffraction reflections to identify clays. *Clays and Clay Minerals*, 32: 231-232.
- JONES, M. B., DELWIDE, C. C. and WILLIAMS, W. A., 1977. Uptake and losses of ^{15}N applied to annual grass and clover in lysimeters. *Agron. J.*, 69: 1019-1023.
- KEENEY, D. R. and NELSON, D. W., 1982. Nitrogen inorganic forms. In: Page et al., (Eds.), *Methods of soil analysis*, 2nd. Ed. Part 2. *Agronomy* 9: 643-698. Am. Soc. of Agron., Inc., Madison., Wis., USA.
- LAURENT, G. C. y LAZZARI, M. A., 1991. Respuesta del trigo a las aplicaciones parciales de nitrógeno, cultivado durante tres años bajo condiciones semiáridas. *Suelo y Planta*, 1: 165-177.
- LAZZARI, M. A., 1982. Distribution of ^{15}N fertilizer in field lysimeters sown with garlic (*Allium sativum*) and foxtail millet (*Setaria italica*). *Plant and Soil.*, 67: 187-191.
- LEGG, J. O. and MEISSINGER, J. J., 1982. Soil nitrogen budgets. In: Stevenson F. J. *Nitrogen in Agricultural Soils*. *Agronomy* 22: 503-563. Am. Soc. of Agron., Inc., Madison, Wis., USA.

- MARTIN, J. P. and CHAPMAN, H. D., 1951. Volatilization of ammonio from surface fertilized soils. *Soil Sci.*, 71: 25-34.
- OLSON, R. V., 1987. Effects of field fertilizer practices on labelled ammonium nitrogen transformations and its utilization by winter wheat. *Plant and Soil*, 97: 189-200.
- OLSON, R. V., MURPHY, L. S., MOSER, H. C. and SWALLOW, C. W., 1979. Fate of tagged fertilizer nitrogen applied to winter wheat. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43: 973-975.
- OLSON, R. V. and SWALLOW, C. W., 1984. Fate of labelled nitrogen fertilizer applied to winter wheat for five years. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48: 583-586.
- PARTON, W. J., MORGAN, J. A., ALTENHOFEN, J. M. and HARPER, L. A., 1988. Ammonio volatilization from spring wheat plants. *Agron. J.*, 80: 419-425.
- RIGA, A., FISHER, V and VAN PRAAG, H. J., 1980. Fate of fertilizer nitrogen applied to winter wheat as $\text{Na}^{15}\text{NO}_3$ and $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ studied in microplots through a four course rotation: 1- Influence of fertilizer splitting on soil and fertilizer nitrogen. *Soil Sci.*, 130: 88-99.
- WESTERMAN, R. L. and KURTZ, L. T. 1972. Residual effects of ^{15}N labelled fertilizer in a field study. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 36: 91-94.
- ZAMYATINA, V. B., 1971. Nitrogen balance studies using ^{15}N labelled fertilizers. In: Nitrogen-15 in soil-plant studies. Sofia, 1986. IAEA, Vienna, 33-45.

Recibido: 17-5-90.
Aceptado: 12-12-90.