

NITROGENO MINERAL RESIDUAL PROVENIENTE DE FERTILIZANTES TRADICIONALES Y DE LIBERACION LENTA EN COLUMNAS DE SUELO TORRIFLUENTE TIPICO ¹

Marti, L.H., Filippini, M.F. y Avellaneda, M.O. ²

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue determinar la distribución en profundidad y el N mineral residual, proveniente de fertilizantes solubles y de liberación lenta, en un suelo hortícola regadío, incubado a 28°C en capacidad hídrica de recipiente, luego de recibir lavados a intervalos regulares.

Con una muestra superficial de un suelo Torrifluente típico, franco-arenoso, se llenaron columnas de PVC de 0,05 m de diámetro interno y 0,37 m de longitud. Cada columna conteniendo 600 g del suelo, fue fertilizada con una dosis de N equivalente a 200 Kg/ha/0,25 m; como Osmocote (40-0-0), Urea (U) o Sulfato de Amonio (SA); en todos los casos a una profundidad de 0,015 m.

A los 7, 14 y 21 días de incubación se realizaron los lavados, efectuándose con posterioridad extracciones destructivas que permitieron determinar los contenidos de $N-NH_4^+$ y $N-(NO_3^- + NO_2^-)$ residuales en fracciones de 0,083 m de cada una.

De los resultados obtenidos se extraen las siguientes conclusiones.

- El fertilizante de lenta liberación se comporta como tal y al finalizar el ensayo el 48,67% del N incorporado está retenido en la columna, en mayor proporción en la fracción superior.

- La U y el SA se distribuyen en forma similar en la columna. No obstante, el porcentaje de N de U fue significativamente superior que el de SA, 31,99% y 26,98% respectivamente. La mayor concentración fue encontrada en la fracción inferior de las columnas.

Palabras clave: Nitrógeno residual - columnas de suelo - fertilizantes de liberación lenta.

SUMMARY

RESIDUAL MINERAL NITROGEN FROM TRADITIONAL AND SLOW-RELEASE FERTILIZERS IN COLUMNS PACKED WITH A TYPIC TORRIFLUENT

The distribution pattern and the concentration of residual-mineral nitrogen from soluble and slow-release fertilizers in an irrigated - horticultural soil was studied in simulated soil profiles. The substrate was incubated at 28°C, first at a moisture equivalent to the "column capacity" and the after each leaching irrigation. A sandy loam typical Torrifluent irrigated soil was placed in columns (0,05 m diameter and 0,37 m height) of PVC. Six hundred grams of soil in each column was fertilized with an equivalent dose of 200 Kg/ha, in the form of Osmocote (40-0-0), Urea (U), and ammonium sulfate (SA) at 0,015 m depth.

The drained solution taken after leaching at periods of 7, 14 and 21 days, and destructive samples of soil in three sections of the columns, were analyzed to determine the residual content of $N-NH_4^+$ and $N-(NO_3^- + NO_2^-)$.

The slow-release fertilizer liberated N gradually and the level of residual N was higher at the first portion of the columns than the other two treatments. At the end of the trial and after three leaching, the N retained in the columns was 48,76% of the added one.

¹ Trabajo Subsidiado por CIUNC (Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Cuyo.

² Cátedra de Química Agrícola. Instituto de Suelos y Riego. Facultad de Ciencias Agrarias. U.N.Cuyo. Alte. Brown 500. 5505. CHACRAS DE CORIA. MENDOZA.

Urea and SA had the same residual N distribution pattern along the columns. However, the N percentage of U was significantly higher than SA (31,99% and 26,98% respectively). The highest concentration was found at the bottom of the columns.

Key words: Residual Nitrogen - soils columns - slow-release fertilizers

INTRODUCCION

Numerosas experiencias han demostrado que los fertilizantes nitrogenados solubles aplicados tradicionalmente en la agricultura regadía, presentan serias desventajas por su baja eficiencia. Las cantidades aplicadas anualmente en cultivos intensivos fluctúan entre 100 y 200 Kg/ha de nitrógeno, de lo cual sólo un 30 a 70% es aprovechado por las plantas en el primer año (RAJENDRA PRASAD *et al*, 1971; WEBSTER *et al*, 1986).

La baja eficiencia del nitrógeno se debe en parte a las importantes pérdidas de $N-(NO_3^- + NO_2^-)$ que se producen por lixiviación profunda, provocando en ocasiones la contaminación de los acuíferos (HOLCOMB, E., 1980).

Además, el $N-NH_4^+$ se pierde fácilmente por volatilización cuando los fertilizantes son aplicados superficialmente, y por denitrificación en los casos de deficiente aereación de los suelos (RAJENDRA PRASAD *et al*, 1971; ROLSTON *et al*, 1979; ROLSTON Y BROADBENT, 1977).

Como consecuencia de lo mencionado anteriormente, surge la necesidad de aplicar los fertilizantes solubles en forma fraccionada, a fin de facilitar su disponibilidad en los períodos críticos del cultivo (RAJENDRA PRASAD *et al*, 1971; HOLCOMB, E. 1980). Esta operación ocasiona un incremento notable en los costos de aplicación.

De acuerdo a la literatura disponible (BARRON, H., 1974; OERTLI, J. and O. LUNT, 1962; LUNT, O. and J. OERTLI, 1962; LUNT, O., 1971; WEBSTER *et al*, 1986; HOLCOMB, E., 1980; RAJENDRA PRASAD *et al*, 1971), los fertilizantes de liberación lenta o de acción retardada, disminuirían los inconvenientes que presentan los tradicionales, con una probable compensación en los costos.

El objetivo del presente trabajo es estudiar la dinámica del nitrógeno mineral proveniente de fertilizantes solubles y de liberación lenta en un suelo hortícola mendocino. A tal efecto se ha seleccionado la metodología de columnas de suelo, que es adecuada para estudios de movilización de nutrimentos (BROWN *et al*, 1966; BROADBENT *et al*, 1958; LUNT *et al*, 1962; SOMMERFELDT *et al*, 1982; KHDYER *et al*, 1983).

Trabajos similares realizados en invernáculo e incubación en laboratorio (FILIPPINI, M. *et al*, 1991), permitirán comparar los resultados obtenidos en el presente trabajo y establecer si existe correlación entre los mismos.

MATERIAL Y METODO

Se construyeron columnas con tubos de PVC de 0,05 m de diámetro interno y de 0,37 m de longitud. En el extremo inferior de las mismas se ajustó una tapa con orificio central y tapón removible que sostenía una gasa plástica de 80 hilos por cm, con el objeto de impedir la pérdida de suelo por el orificio de drenaje (Figura 1).

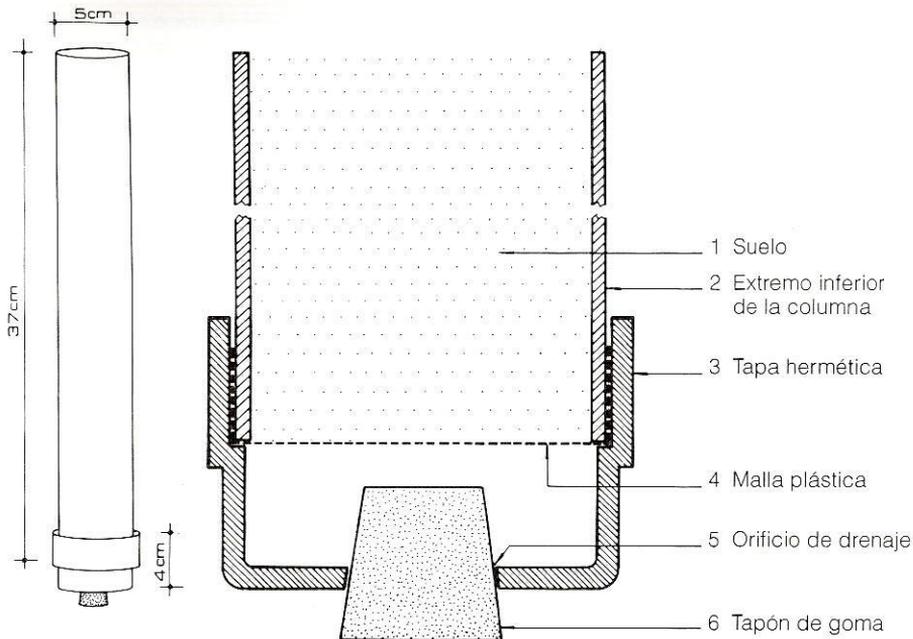


Fig. 1 Columna armada y detalle del cierre

El suelo empleado corresponde a la zona hortícola de Villa Seca, Departamento de Tunuyán (Torrifluvente Típico, franco-arenoso).

Se trabajó sobre una alícuota de la capa arable (0-0,30 m) seca al aire y pasada por tamiz de 2 mm, homogeneizándose convenientemente en una agitadora rotativa. La caracterización inicial del suelo utilizado se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1: Caracterización inicial del suelo (Villa Seca - Tunuyán - Mendoza)

Clasificación	Torrifluvente típico
Clase textural	franco-arenoso
Volumen de sedimentación (ml % g ⁻¹)	78
pH (pasta)	7.6
CE Extracto de saturación (mSm ⁻¹)	96
N (total) (mg Kg ⁻¹)	1 288
N-(NO ₃ ⁻ + NO ₂ ⁻) (mg Kg ⁻¹)	16.50
N-(NH ₄ ⁺) (mg Kg ⁻¹)	8.05
Materia orgánica (%)	0.92
P (CO ₂ - 1:10) (mg Kg ⁻¹)	3.47
K (intercambiable) (mg Kg ⁻¹)	400

Tabla 1: Continuación

Calcáreo (CO ₃ Ca %)	0.81
Densidad aparente (mg m ⁻³)	1.40

Cada columna fue llenada con 600 g del suelo descrito, utilizando un procedimiento estándar para asegurar una homogénea distribución y compactación. En estas condiciones el suelo representaba una altura de aproximadamente 0,25 m en el interior de la columna.

Los fertilizantes utilizados fueron tres: uno de ellos de lenta liberación denominado Osmocote (40-0-0) que consiste en urea revestida con resinas poliméricas en un 9,28% equivalente a un mínimo espesor, de acuerdo a las especificaciones de fabricante. Los otros dos fertilizantes son del tipo tradicional o soluble y los más empleados en nuestro medio, urea y sulfato de amonio.

El diseño experimental fue totalmente al azar con tres fuentes de nitrógeno, un testigo y tres repeticiones por tratamiento.

Se trabajó con una dosis de nitrógeno equivalente a 200 Kg ha⁻¹, en concordancia con valores que se emplean en cultivos hortícolas regadíos. Dicha dosis equivale a 57,14 microgramos g⁻¹ si se considera que el peso de la capa arable es de 3.500 Mg.ha⁻¹ para este suelo franco-arenoso de PEA 1,40 Mg/m⁻³.

La fertilización fue localizada a 0,015 m de profundidad y con el suelo en capacidad de recipiente previamente establecida.

Las columnas se llevaron a estufa de cultivo a temperatura de 28°C ± 2°C. A los 7, 14 y 21 días se efectuaron extracciones destructivas, a las que previamente se les incorporó el agua perdida (4-5%) y se les agregó 140 ml de agua destilada para lavar. Este valor se determinó en relación a la cantidad de agua necesaria para saturar el suelo, más un excedente que asegurase el drenaje. Se dejaron drenar durante 24 horas y se extrajeron tres por cada tratamiento. El suelo de las columnas extraídas se dividió en tres fracciones (0 a 8,33 cm; 8,33 a 16,66 cm y 16,66 a 25 cm) y se acondicionó para determinar el nitrógeno residual correspondiente a N-(NO₃⁻ + NO₂⁻) y N-NH₄⁺, empleando el método de destilación por arrastre con vapor (BREMNER, 1965).

El resto de las columnas volvió a estufa para ser extraídas a los 14 y 21 días, repitiéndose la operación descrita anteriormente.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla 2 se han volcado los valores correspondientes a cada tratamiento ensayado, consignándose los de cada capa de la columna en los distintos tiempos de incubación.

En la Figura 2 se observa la evolución del Nitrógeno mineral durante la incubación, en cada capa de la columna y en los diferentes tratamientos.

El análisis estadístico de los resultados se realizó ajustando un modelo de regresión polinomial que incluye las variables continuas tiempo y profundidad además de las variables binarias para diferenciar las fuentes de N con todas las interacciones posibles. También se ajustaron modelos reducidos (anidados o comprendidos en el modelo completo), para realizar algunas comparaciones de interés.

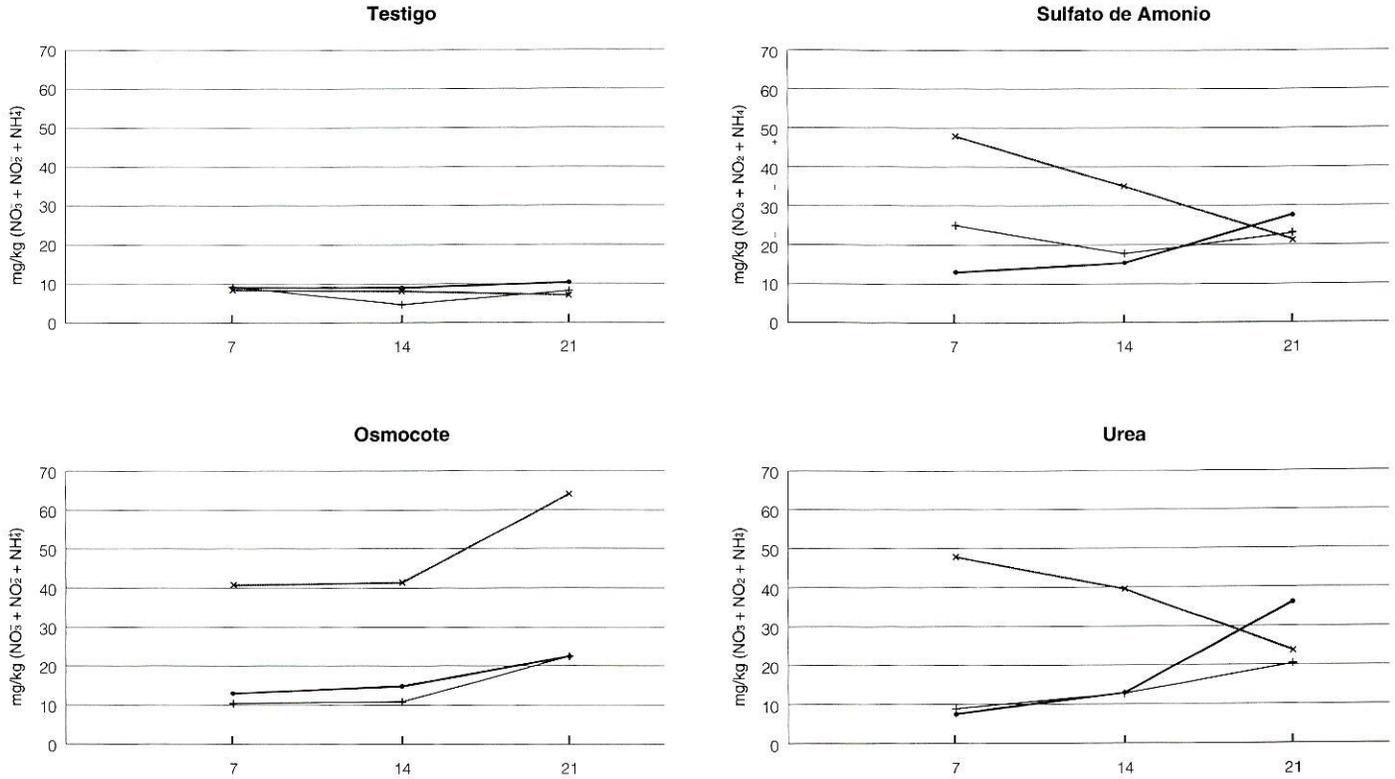
Los modelos reducidos se compararon con el modelo general, mediante la pruebas de F, para comparación de modelos anidados, tratado por GUJARATI (1988). Se concluyó que era justificable mantener el modelo general, F=104, con todas las interacciones de las variables binarias (fuentes) y con los términos continuos (tiempo, profundidad) y sus términos cuadráticos.

El estudio de los resultados obtenidos determinando el N mineral residual en las tres fracciones en que se dividió la columna y en los distintos tiempos de incubación, conduce a las siguientes observaciones.

Tabla 2: Contenido de Nitrógeno residual correspondiente a $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$, N-NH_4^+ y total mineral determinado en cada capa y total de la columna, en los diferentes tratamientos y tiempos de incubación. (Promedio de tres repeticiones.)

Trat.	Días	Fracción	NH_4^+ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	$\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	N mineral $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	N mineral $\mu\text{g}\cdot 200\text{g}$	N% en cada capa	N mineral $\mu\text{g}\cdot 600\text{g}$	% N ¹ residual	
Testigo	7	1 ^a .	5.83	2.57	8.40	1680	31.44	5344		
		2 ^a .	6.30	2.92	9.22	1844	34.50			
		3 ^a .	6.18	2.92	9.10	1820	34.06			
	14	1 ^a .	4.67	3.38	8.05	1610	37.29	4318		
		2 ^a .	3.73	0.82	4.55	910	21.07			
		3 ^a .	7.12	1.87	8.99	1798	41.64			
	21	1 ^a .	5.02	1.98	7.00	1400	27.39	5112		
		2 ^a .	6.30	1.87	8.17	1634	31.96			
		3 ^a .	6.42	3.97	10.39	2078	40.65			
Osmocote	7	1 ^a .	31.60	9.10	40.70	8140	63.56	12806	21.76	
		2 ^a .	7.35	3.03	10.38	2076	16.21			
		3 ^a .	9.45	3.50	12.95	2590	20.23			
	14	1 ^a .	17.80	23.53	41.33	8266	61.65	13408	26.51	
		2 ^a .	5.23	5.60	10.83	2166	16.15			
		3 ^a .	9.03	5.85	14.88	2976	22.20			
	21	1 ^a .	28.80	35.23	64.03	12806	58.74	21798	48.67	
		2 ^a .	16.53	5.95	22.48	4496	20.63			
		3 ^a .	18.63	3.85	22.48	4496	20.63			
	Sulfato de Amonio	7	1 ^a .	27.17	20.63	47.80	9560	55.86	17114	34.33
			2 ^a .	14.35	10.50	24.85	4970	29.04		
			3 ^a .	8.85	4.07	12.92	2584	15.10		
14		1 ^a .	13.65	21.23	34.88	6976	51.38	13578	27.01	
		2 ^a .	10.50	7.23	17.73	3546	26.11			
		3 ^a .	13.65	1.63	15.28	3056	22.51			
21		1 ^a .	14.90	6.42	21.32	4264	29.69	14362	26.98	
		2 ^a .	16.57	6.30	22.87	4754	31.85			
		3 ^a .	21.90	5.72	27.62	5524	38.46			
Urea		7	1 ^a .	32.08	15.75	47.83	9566	74.41	12856	21.91
			2 ^a .	5.72	3.15	8.87	1774	13.80		
			3 ^a .	5.95	1.63	7.58	1516	11.79		
	14	1 ^a .	11.32	28.20	39.52	7904	60.52	13060	25.50	
		2 ^a .	6.88	5.95	12.83	2566	19.65			
		3 ^a .	9.57	3.38	12.95	2590	19.83			
	21	1 ^a .	12.47	11.43	23.90	4780	29.73	16080	31.99	
		2 ^a .	13.07	7.23	20.30	4060	25.24			
		3 ^a .	25.93	10.27	36.20	7240	45.03			

¹ Para la estimación del porcentaje de Nitrógeno mineral residual se consideró solamente el proveniente del fertilizante y se descontó el correspondiente al testigo.



Referencias:

x — 1^a. Fracción 0 - 8,33 cm; + — 2^a. Fracción 8,33 - 16,66 cm; • — 3^a. Fracción 16,66 - 25 cm.

Figura 2. Evolución del N mineral durante la incubación en cada fracción de la columna.

Testigo

En la primera fracción (0-8,33 cm), el tenor de N se mantiene constante entre los 7 y 14 días, notándose una leve disminución a los 21 días, posiblemente motivada por su movilización a capas inferiores por efecto de tres lavados.

En la segunda fracción (8-33-16,66 cm), el tenor de N disminuye a los 14 días para luego incrementarse a los 21 días por el aporte de la capa superior o por mineralización del N orgánico del suelo.

En la capa inferior (16,66-25 cm), el N se mantiene constante hasta los 14 días y luego se incrementa levemente a los 21 días, también por aporte de las capas superiores o por mineralización.

Con respecto al total de la columna, podemos decir que a los 7 días se detecta un valor de N mineral del 36,28% del inicial, a los 14 días un 28,91% y a los 21 días un 34,69%.

Osmocote

En la primera fracción de la columna, ya a los 7 días se registra un importante incremento de N respecto al testigo, por liberación del fertilizante como consecuencia de fallas de cobertura (7 y 12). Este valor se mantiene a los 21 días, lo cual se ajusta al proceso de lenta liberación del fertilizante. En relación a las otras fracciones de la columna, en esta primera se detecta el mayor porcentaje de N, siendo superior al 60% (del total de la columna) a los 7 días y muy próximo a este valor a los 21 días. Se puede observar también que el $N-NH_4^+$, la forma más abundante de N detectada a los 7 días, disminuye a los 14 días con el consiguiente aumento de $N-(NO_3^- + NO_2^-)$ por efecto de su nitrificación. A los 21 días ambas formas de N presentan valores elevados.

En la segunda fracción, el N se mantiene constante entre los 7 y 14 días. A los 21 días se incrementa el $N-NH_4^+$, lo que se justifica por las características del suelo utilizado (arenoso), de limitada retención de esta forma de N. En esta segunda fracción, a los 7, 14 días, se registran los valores más bajos de N de la columna, aproximadamente el 16% de su totalidad.

En la tercera fracción el comportamiento es similar a la anterior, con valores algo superiores a los 7 y 14 días y similares, a los 21 días.

Se analizaron los valores de N mineral residual de la columna respecto al N inicial incorporado al suelo con la fertilización, detectándose a los 7 días se detectó el 21,76%, a los 14 días el 26,51% y a los 21 días el 48,67%.

Sulfato de Amonio

En la primera fracción hay un valor máximo de N a los 7 días, disminuyendo significativamente a los 14 y 21 días. El $N-NH_4^+$ es el que más decae a los 14 días mientras el $N-(NO_3^- + NO_2^-)$ se mantiene constante, pero a los 21 días es este último el que disminuye significativamente. Esto puede explicarse por la mayor retención de esta forma de N hasta su nitrificación, a pesar de las características texturales del suelo utilizado. En esta primera fracción se detecta más del 50% del N de la columna a los 7 y 14 días, mientras que a los 21 días se registra el menor tenor.

En la segunda fracción el N decae entre los 7 y 14 días para aumentar a los 21 días, llegando casi hasta su valor inicial. Este comportamiento es consecuencia de la variación del $N-NH_4^+$. El $N-(NO_3^- + NO_2^-)$ decae más regularmente. Ello puede explicarse por el aporte de $N-NH_4^+$ de las capas superiores, el cual se mueve más lentamente que el $N-(NO_3^- + NO_2^-)$ por los lavados.

En la fracción final el N mineral aumenta levemente hasta los 14 días y luego registra un aumento significativo a los 21 días, representando el 38,46% del total de la columna. El $N-NH_4^+$ es el que influye en esta variación porque a pesar de su baja retención en el suelo arenoso utilizado, se comporta en forma diferencial con los $N-(NO_3^- + NO_2^-)$.

Si se analizan los valores de N residual para el total de la columna, a los 7 días se detecta

el 34,33% del total de N incorporado, con un valor superior al Osmocote y Urea. A los 14 y 21 días los valores son similares y de aproximadamente el 27%.

Urea

En la fracción inicial el tenor de N desciende en forma similar que S A pero con valores superiores. La concentración de N-($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) aumenta significativamente entre los 7 y 14 días en correspondencia con la disminución de N- NH_4^+ . Este comportamiento es similar o concordante con lo encontrado por BROADBENT *et al.* (1958), quien comprobó que en condiciones normales, la urea se hidroliza completamente a los 7 días y se nitrifica en 15 días. A los 21 días el N- NH_4^+ mantiene su concentración y el N-($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) desciende bruscamente por su lixiviación. En esta fracción se detecta el 74,4% del N de la columna a los 7 días, el 60% a los 14 días y el 29% a los 21 días.

En la fracción media, el N se incrementa constantemente desde los 7 a los 21 días, pero con tenores inferiores a los encontrados para S A en la misma fracción. Esto es consecuencia de un menor aporte de la capa superior por efecto de lavado.

La última fracción presenta un incremento de los 7 a los 14 días, pero es más significativo entre los 14 y 21 días, llegando a un 45% del total de la columna. Tanto el N-($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) como el N- NH_4^+ aumentan en forma similar pero es más abundante este último (rel. 1:3), lo que podría indicar que no hay modificación en la velocidad de nitrificación del N- NH_4^+ procedente de la hidrólisis de la urea.

Los valores de N residual para el total de la columna muestran un comportamiento significativamente diferencial con respecto al sulfato de amonio. Con un valor inicial del 21,91%, va incrementándose hasta llegar al 31,99% a los 21 días. Esto es consecuencia de que la determinación de N no incluye la forma ureica. Además, según experiencias (VLEK y CARTER, 1983), por su acondicionamiento se lixivia más lentamente que el (S A), hasta su hidrólisis y nitrificación.

Los resultados son concordantes con los obtenidos por otros investigadores (BROADBENT *et al.*, 1958; FILIPPINI de ZULUAGA *et al.*, 1991), pues es de aproximadamente 7 días el desfase de los resultados. Probablemente si se hubiese prolongado la experiencia por 7 días más, se registraría la disminución del tenor de N, por cuanto el valor más alto se encuentra en la tercera fracción.

Conclusiones

- Se comprueba un comportamiento diferencial entre los tipos de fertilizantes ensayados con respecto a la liberación de N y en consecuencia a su movilidad, en concordancia con experiencias anteriores (BROWN *et al.*, 1966; FILIPPINI de ZULUAGA *et al.*, 1991).

- El fertilizante de lenta liberación se comporta de acuerdo a lo esperado, liberando en el transcurso del tiempo menos N que los tradicionales. Después de 21 días de incubación y tres lavados en el Osmocote encontramos que el 48,67% del N incorporado está retenido en la columna y de este N el 58,74% se encuentra en la primera fracción.

- En el S A el porcentaje de N residual en la columna es del 26,98% y la mayor concentración se encuentra en la tercera fracción con el 38,46% del total de la columna. La U tiene un comportamiento similar al S A en cuanto a la distribución del N residual a lo largo de la columna pero con valores significativamente superiores, siendo el N residual del 31,99% y en la tercera fracción del 45,03%.

- En el suelo ensayado de textura arenosa, el amonio se desplaza sin retenciones, lo que no justifica el uso de inhibidores de la nitrificación en suelos similares.

- Los resultados obtenidos con este método de columnas de suelo, son concordantes con los obtenidos en condiciones de incubación en macetas por FILIPPINI *et al.* (1991), en lo

referente a la velocidad de nitrificación de la urea y a su menor lixiviación con respecto al S A, lo cual demuestra la viabilidad de esta metodología para el estudio de la dinámica de fertilizantes.

BIBLIOGRAFIA

- BARRON, H.M., 1974. The use for slow-release fertilizers. International Plant Propagators Society. Vol. 24: 221-229.
- BREMNER, J.M., 1965. Inorganic forms of nitrogen. In C. A. Black *et al* (ed). Methods on soil analysis. Part 2. Agron. 9: 1179-1237. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin.
- BROADBENT, F.E., G.N. HILL and K.N. TYLER, 1958. Transformation and Movement of Urea in Soils. Soil Sci. Soc. Proceedings. Págs. 303-307.
- BROWN, M.J., R.E. LUEBS and P.F. PRATT, 1966. Effect of temperatura and coating thicness on the release of urea resin-coated granules. Agron. Journal. 58: 175-178.
- FILIPPINI de ZULUAGA, M.F., J.C. GAVIOLA y M.A. JAUREGUI, 1991. Comportamiento de un fertilizante nitrogenado de liberación lenta en la serie La Consulta franco-arenoso, Mendoza. Ciencia del Suelo 9 (1-2): 53-61.
- GUJARATI, D.N., 1988. Basic Econometric. 2nd. Ed. Mc. Graw Hill. N. York.
- HOLCOMB, E., 1980. How to increase fertilizer efficiency through slow-release formulations. Department of Horticulture, Pennsylvania State University Park.
- KHDYER, I.I. and C.M. CHO, 1983. Nitrification and denitrification of nitrogen fertilizers in a soil column. Soil Sci. Soc. Am. J. 47: 1134-1139.
- LUNT, O.R., 1971. Controlled-Release fertilizers: Achievements and potencial. J. Agr. Food Chem., 19 (5): 797-800.
- _____, and J.J. OERTLI, 1962. Controlled release of fertilizer minerals by incapsulating membranes: II. Efficiency of recovery, influence of soil moisture, mode of application and other considerations related of use. Soil Sci. Soc. Proc. 26: 584-587.
- OERTLI, J.J. and O.R. LUNT, 1962. Controlled release of fertilizer minerals by incapsulating membranes: I. Factors influencing the rate or release. Soil Sci. Soc. Proc. 26: 579-583.
- PATEL, A.J. and G.C. SHARMA, 1977. Nitrogen release characteristics of controlled-release fertilizers during a four month soil incubation. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 102 (3): 364-367.
- PRASAD, R., G.B. RAJALE and B.A. LAKHDIVE, 1971. Nitrification retarders and slow-release nitrogen fertilizers. Advances in Agronomy 23: 337-383.
- ROLSTON, D.E. and F.E. BROADBENT, 1977. Field measurement of denitrification. United States Environmental Protection Agency Res. Report ser. EPA 600/2-77-23. Ada, Oklahoma.
- _____, M. FRIED and D.A. GOLDHAMER, 1979. Denitrification measured directly form nitrogen and nitrous oxide gas fluxes. Soil Sci. Soc. Am. J. 40: 259-266.

- SOMMERFELDT, T.G., C. CHANG and J.M. CAREFOOT, 1982. A laboratory study on the effects on soil moisture content, texture, and timing of leaching on N losses from two Southern Alberta soils. *Canadian J. Soil Sci.* 62: 407-413.
- VLEK, P.L.G. and M.F. CARTER, 1983. The effect of soil environment and fertilizer modifications on the rate of urea hydrolysis. *Soil Science*. 136 (1): 56-63.
- WEBSTER, C.P., R.K. BELFORD and R.Q. CANNELL, 1986. Crop uptake and leaching losses of ¹⁵N labelled fertilizer nitrogen in relation to waterlogging of clay and sandy loam soils. *Plant and Soil*. 92: 89-101.