COMPORTAMIENTO DE UN FERTILIZANTE NITROGENADO DE LIBERACION LENTA EN LA SERIE LA CONSULTA FRANCO ARENOSO, MENDOZA

M.F. Filippini de Zuluaga (1); J.C. Gaviola (2) y M.A. Jauregui (1)

(1) Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo
Almirante Brown 500; 5505 - Chacras de Coria

(2) EEA La Consulta, INTA; Casilla de Correo 8; 5567 - La Consulta

RESUMEN

Con el objeto de realizar una evaluación preliminar de las posibilidades de uso de fertilizantes nitrogenados de liberación lenta en suelos regadíos dedicados a la producción de hortalizas en la región cuyana, se condujeron experimentos de incubación, lavado y efecto salino, comparando los comportamientos de la urea (45-0-0) y el sulfato de amonio (21-0-0) con el del Osmocote (40-0-0).

Los resultados obtenidos corroboran la información recopilada en la literatura extranjera con respecto al menor efecto salino de estos fertilizantes, a la reducción de las pérdidas de N por lixiviación, y al mantenimiento más prolongado de N en forma amoniacal dentro de los gránulos de fertilizante. Esto último adquiere particular importancia al comprobarse que las pérdidas por lixiviación del N-NH_4 proveniente de fertilizantes convencionales (urea y sulfato de amonio) fueron de considerable magnitud. De acuerdo con esto, propuestas alternativas de control de las pérdidas de N tales como el uso de inhibidores de la nitrificación, deberían ser estudiadas con cautela.

Palabras clave: Nitrógeno, fertilizantes, fertilizantes de liberación lenta.

PERFORMANCE OF A SLOW-RELEASE NITROGEN FERTILIZER IN SOILS OF LA CONSULTA, MENDOZA

ABSTRACT

The possibilities of using slow-release N fertilizers in irrigate soils dedicated to production of vegetable crops in the West of Argentina were preliminary assessed with incubation, leaching and saline effect experiments. Osmocote (40-0-0) was compared to urea (45-0-0) and ammonium sulfate (21-0-0).

The results are in agreement with foreign literature as regards the smaller saline effect of slow-release fertilizers, the reduction in N losses by leaching, and the longer period in which N remains as NH_4 in the granule. The latter feature is particularly important as it was observed that losses of N-NH_4 when using conventional fertilizers (urea and ammonium sulfate) were not negible. According to this, other approaches to control N losses - i.e. use of nitrification inhibitors - should be cautiously studied before recommending them as alternatives for these soils.

Key words: Nitrogen, fertilizers, slow-release fertilizers.

INTRODUCCION

La baja eficiencia de uso de los fertilizantes nitrogenados en la agricultura regadía es un problema que ha venido recibiendo especial atención en los últimos años a nivel mundial (Legg y Meisinger, 1982). Esta preocupación se vincula con dos aspectos fundamentales. Uno es la creciente contaminación ambiental ocasionada por el deterioro de la calidad de las aguas subterráneas al aumentar la concentración de nitratos. El otro es el aumento del precio internacional del N, que incentiva los trabajos de investigación orientados hacia una mayor eficiencia en su uso, con el objeto de mejorar la relación beneficio/costo de la fertilización a nivel de finca y también reducir las importaciones de fertilizantes nitrogenados en los países no autoabastecidos.

Las causas de la mencionada ineficiencia de uso del N son principalmente la lixiviación profunda de nitratos con el agua de riego (Viets *et al.*, 1967) y las pérdidas por denitrificación en períodos cortos de tiempo que suceden a cada riego, durante los cuales la aeración del suelo es pobre (Rolston *et al.*, 1979; Rolston y Broadbent, 1977).

En las zonas hortícolas cuyanas los ensayos de fertilización han presentado, en general, poca o nula respuesta al N (Nijensohn, 1977; Nijensohn *et al.*, 1980). Se especula que esta falta de respuesta no se debería a una adecuada disponibilidad de N para las plantas en estos suelos, en su mayoría Torrifluventes con bajo tenor de materia orgánica, sino a una eficiencia muy pobre en el aprovechamiento de este elemento por los motivos arriba mencionados.

Los fertilizantes nitrogenados de liberación lenta o controlada presentarían, en general, las siguientes ventajas dentro de la problemática planteada:

a) Disminución de las pérdidas por lixiviación.

b) Mantenimiento de un flujo sostenido de nutrimentos hacia la interfase suelo-raíz, con una renovación ligada a la absorción por parte de las plantas y a otras formas de remoción en la rizosfera.

c) Menor efecto salino en comparación con los fertilizantes tradicionales.

d) Eliminación de la necesidad de fraccionar las dosis de fertilizantes, resultando ello en menores costos de aplicación que pueden compensar parcial o totalmente el mayor precio de los fertilizantes de liberación lenta.

De la revisión de una abundante bibliografía extranjera (Allen *et al.*, 1971; Brown y Volk, 1966; Bundy y Bremner, 1973; Cox y Addiscott, 1976; Giordano y Mortvedt, 1970; Hays *et al.*, 1965; Hays y Haden, 1966; Johnson y Hamilton, 1977; Lorenz *et al.*, 1972; Lunt y Oertli, 1962; Matocha, 1976; Oertli y Lunt, 1962; Prasad, 1976 a y b; Sharma y Patel, 1978; Sharma *et al.*, 1976; Shelton, 1976; Smagula y Hepler, 1978; Waddington *et al*, 1976) surgen como más promisorios los fertilizantes nitrogenados encapsulados con membranas sintéticas porosas y los recubiertos con azufre (urea-S), con o sin el agregado de sustancias coadyuvantes que retardan la nitrificación.

El objetivo de este trabajo es realizar una primera evaluación de las posibilidades de uso de fertilizantes nitrogenados de liberación controlada en la horticultura regadía de la región cuyana. Con excepción del trabajo inédito de Fittipaldi y Jauregui (1985), cuyos resultados de fertilización de tomate a campo fueron promisorios, se desconocen antecedentes sobre este tema a nivel regional. Gaviola *et al.* (1987), por otro lado, afirman que "todos aquellos conocimientos que fundamentan prácticas que tiendan a acrecentar la fertilidad nitrogenada son de gran interés regional".

MATERIALES Y METODOS

En el laboratorio se condujo un experimento de incubación para evaluar la tasa de liberación de N de distintos materiales fertilizantes. En el invernáculo se realizaron estudios de lavado y efecto salino.

Se utilizó una muestra superficial (0-20 cm) de un suelo perteneciente a la serie tentativa La Consulta franco arenoso (Torrifluvente típico)

a) Ensayo de incubación

Se empleó un metodo de incubación en macetas plásticas sin drenaje, con seguimiento durante 15 semanas. Cada maceta contenía un kg de suelo de bajo contenido de N, tomado de 0 a 20 cm de profundidad.

Para la caracterización inicial del suelo se determinaron C orgánico (0.46%), N total (700 mg kg^{-1}), P disponible (extracción carbónica 1:10, 6 4 mg kg^{-1}), volumen de sedimentación (0,88 ml g^{-1}), franco arenoso), $CaCO_3$ (5,4%), pH en pasta (7,7), curva de capacidad hídrica (1,5 MPa: 8,35%: 1,0

MPa: 8,65% 0,5 MPa: 9,75%; 0,1 MPa: 14,95%; 0,05 MPa: 17,75%; 0,03 MPa: 19,45% 0,02 MPa: 21,45%; 0,01 MPa 27,45%) porcentaje de saturación (40%) y conductividad eléctrica del extracto de saturación (3,8 dS m^{-1}).

El diseño experimental fue totalmente al azar, con tres fuentes de N y un testigo sin tratamiento nitrogenado, con extracciones destructivas cada tres semanas y con tres repeticiones.

Los fertilizantes fueron urea (45-0-0) de la firma Petrosur S.A , sulfato de amonio (21-0-0) de la misma marca comercial, y la urea de liberación lenta fabricada por la empresa norteamericana Sierra Chemical Co. (Osmocote 40-0-0). Estos productos fueron elegidos por los siguientes motivos: 1) La firma Petrosur S.A. produce y comercializa la mayor cantidad de fertilizantes nitrogenados en la Argentina; 2) urea y sulfato de amonio son los fertilizantes más utilizados en la horticultura cuyana como fuentes de N, aunque el segundo está siendo desplazado por el primero; 3) el sulfato de amonio representa en el ensayo un patrón de comparación de alta solubilidad y velocidad de transformación; y 4) el Osmocote 40-0-0 es un representante de los fertilizantes de liberación controlada que posee una cobertura de un copolímero del diciclopentadieno y que ha alcanzado cierta difusión en mercados extranjeros.

A cada maceta se le aplicó una dosis de 200 mg kg^{-1} de N en alguna de las formas antedichas, con excepción de las macetas testigos. Al comenzar el ensayo los fertilizantes se ubicaron en el centro de las macetas a 6 cm de profundidad. Luego se regó hasta el contenido que correspondía a una succión de equilibrio de 0,02 MPa, como una aproximación a la capacidad de campo de este suelo. Este contenido hídrico fue restablecido semanalmente mediante riegos controlados por pesada.

La incubación se realizó en un ambiente de temperatura controlada a 25 ± 2 °C.

Cada tres semanas se tomaron tres macetas de tratamiento, se homogeneizaron las masas de suelo, y se hicieron determinaciones de amonio ($N - NH_4$) y de nitrato más nitrito ($N - (NO_3 = NO_2)$) extraibles con KCl 2 N, con el método de destilación por arrastre con vapor (Bremner, 1965), por duplicado.

Para cada fuente de N se calculó el porcentaje de nitrificación aparente (PNA), cada tres semanas, sobre la base de las diferencias entre el $N - (NO_3 + NO_2)$ del suelo fertilizado y el $N - (NO_3 + NO_2)$ del testigo, expresadas porcentualmente con respecto a los 200 mg de N/kg agregados inicialmente.

b) Ensayo de lavado

Con este experimento se evaluó el efecto salino de los mismos fertilizantes del ensayo anterior, en distintas dosis, con y sin lavados periódicos para simular la acción del riego en condiciones de campo.

El diseño experimental fue completamente al azar, con arreglo factorial de seis niveles (0, 40, 80, 120, 160 y 200 mg kg^{-1} de N) de los fertilizantes 21-0-0, 45-0-0 ya mencionados, con y sin lavado, con dos repeticiones. Se utilizaron macetas plásticas con 1 kg de suelo, regadas diariamente con agua destilada hasta un peso correspondiente al contenido hídrico en equilibrio con 0,02 MPa. Las macetas con tratamiento de drenaje fueron perforadas y colocadas sobre recipientes colectores individuales. Los fertilizantes se aplicaron como en el ensayo anterior, a 6 cm de la superficie. Todas las macetas recibieron un tratamiento basal de 100 mg kg^{-1} de P como $Ca(H_2PO_4)_2 . H_2O$, con el objeto de aproximarse a las condiciones reales de producción de tomate en estos suelos, donde la fertilización nitrogenada va acompañada con la fosfatada.

Los tratamientos de lavado se efectuaron a los 7 y 14 días después de la fertilización agregando un volumen de agua equivalente al de saturación del suelo.

Los pequeños volúmenes percolados de las macetas con drenaje, con excepción de los inmediatamente posteriores a los dos lavados (24 horas), fueron restituidos al suelo.

Al finalizar el ensayo se determinó la conductividad eléctrica del extracto de saturación. La conductividad eléctrica y las concentraciones de $N - NH_4$ y $N - (NO_3 + NO_2)$ también se determinaron en los percolados después de cada lavado, previa medición del volumen de percolado a las 24 horas del tratamiento.

Con el propósito de compensar las variaciones de conductividad eléctrica asociadas con variaciones en el volumen percolado, se efectuó una corrección estimando los valores de conductividad eléctrica correspondientes a los volúmenes percolados medios (286 mL en el primer lavado y 267 mL en el segundo).

RESULTADOS Y DISCUSION

a) Ensayo de incubación.

En la **Figura 1** se presentan las variaciones de los contenidos de N – NH_4 y N – (NO_3 + NO_2), y del PNA, determinados en el transcurso de 15 semanas.

Las comparaciones estadísticas pertinentes a la **Figura 1** se resumen en la **Tabla 1**.

En general, el tratamiento con Osmocote proporcionó un nivel de N – NH_4 superior al resto de los tratamientos, con excepción del comportamiento aparentemente anormal a las 12 semanas. La mayor concentración de N – NH_4 del Osmocote fue acompañada de una menor concentración de N – (NO_3 + NO_2) en las primeras semanas de incubación. A partir de la sexta semana y nuevamente con la excepción del resultado a las 12 semanas, el nivel de N – (NO_3 + NO_2) del Osmocote no difirió significativamente del resto.

Prácticamente todo el N agregado se nitrificó en las primeras tres semanas, con excepción del tratamiento con Osmocote, que a la tercera semana nitrificó el 55%.

b) Ensayo de lavado.

En la **Figura 2** se consignan los porcentajes aparentes (testigo deducido) del N agregado que se perdió por lixiviación como N – NH_4 y como N – (NO_3 + NO_2). En términos generales, el sulfato de amonio y la urea tuvieron comportamientos relativamente semejantes entre sí y notablemente diferentes al del Osmocote. Con éste las pérdidas de N – NH_4 fueron despreciables en ambos lavados, los que confirma que el N agregado queda retenido en el gránulo recubierto. Las pérdidas de N – (NO_3 + NO_2) con Osmocote también fueron muy inferiores a las obtenidas con los otros dos de fertilizantes.

En el primer lavado llaman la atención las pérdidas de N – NH_4 en las macetas fertilizadas con sulfato de amonio y urea, alcanzando valores superiores al 20% en el caso del sulfato de amonio en sus dosis más altas. Esto disminuye las posibilidades de otras propuestas de control de las pérdidas de N (por ejemplo, el uso de inhibidores de la nitrificación) que también implican un mantenimiento relativamente prolongado de este nutrimento en forma amoniacal, pero sin la protección física de una membrana o cubierta para re-

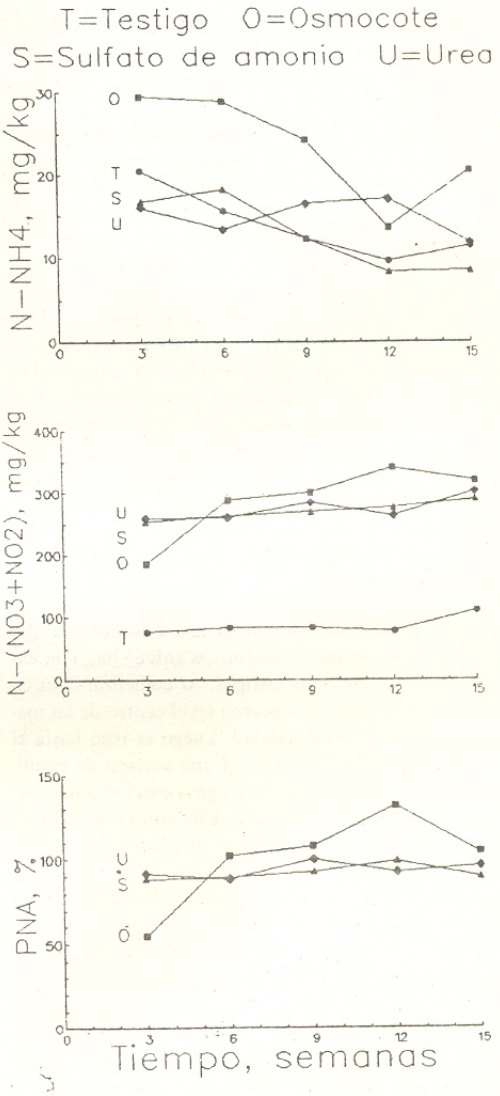

Fig. 1. Variación de los contenidos de N-NH_4 y N – (NO_3 + NO_2), y del porcentaje de nitrificación aparente (PNA) durante la incubación.

Tabla 1. Contenidos de $N-NH_4$ y $N-(NO_3 + NO_2)$ en el suelo y porcentaje de nitrificación aparente (PNA) durante 15 semanas de incubación. Promedios de tres repeticiones.

Semana	Tratamiento	$N-NH_4$ mg kg^{-1}	$N-(NO_3 + NO_2)$ mg kg^{-1}	PNA
3	Testigo	10,5 abc[1]	75,7 e	
	Osmocote	29,5 a	185,5 d	54,9
	$(NH4)_2SO_4$	16,7 bod	253,3 c	88,8
	Urea	16,0 bod	259,2 c	91,8
6	Testigo	15,6 bod	89,1 e	
	Osmocote	28,9 a	287,6 abc	102,3
	$(NH4)_2SO_4$	18,2 bod	262,5 c	88,6
	Urea	13,4 cd	260,2 c	89,7
9	Testigo	12,3 cd	83,4 e	
	Osmocote	24,2 ab	299,9 abc	109,3
	$(NH4)_2SO_4$	12,3 cd	269,0 bc	92,8
	Urea	16,4 bcd	283,8 bc	100,2
12	Testigo	9,6 d	77,4 e	
	Osmocote	13,6 cd	341,0 a	131,8
	$(NH4)_2SO_4$	8,3 d	276,1 bc	99,5
	Urea	17,0 bcd	262,8 c	92,7
15	Testigo	11,4 cd	109,6 e	
	Osmocote	20,5 abc	319,2 ab	104,8
	$(NH4)_2SO_4$	8,5 d	289,2 abc	89,8
	Urea	11,8 cd	301,7 abc	91,0

[1] Los promedios seguidos de la misma letra no difieren significativamente entre sí al 5%.

ducir la lixiviación de $N - NH_4$ en suelos de características similares a La Consulta franco arenoso.

Con los tres fertilizantes las mayores pérdidas de N por lixiviación se produjeron con el primer lavado, una semana después de la aplicación (L1 en la **Fig. 2**).

Al aumentar la dosis de N agregado disminuyó la pérdida porcentual de N hecho que estaría asociado con una menor eficiencia relativa en la actividad de los microorganismos nitrificadores, comparado con niveles más bajos de NH_4 disponible como sustrato.

Resalta el comportamiento diferencial del Osmocote, con pérdidas de N inorgánico (N amoniacal + N nítrico) entre 14 y 24%, comparado con las pérdidas de 64 a 97% con sulfato de amonio y 52 a 93% con urea, todas ellas dependientes de la dosis de N agregado.

Los resultados de la evaluación del efecto salino de cada fertilizante se presentan sintéticamente en la **Figura 3** mediante las rectas de regresión de la conductividad eléctrica de las soluciones percoladas a los 7 y 14 días posteriores a la fertilización y del extracto de saturación del suelo sin lavado, *versus* las dosis de N agregado.

Las ecuaciones de ajuste se presentan a continuación, indicando que todos los coeficientes de regresión que fueron estadísticamente significativos al 1%:

Percolado a los 7 días (**Fig. 3a**):

$CE = 3{,}04 + 0{,}0018^{NS}\ N$ (Osmocote)
$CE = 3{,}04 + 0{,}0082^{**}\ N$ (Urea)
$CE = 3{,}04 + 0{,}0125^{**}\ N$ (Sulfato de amonio)

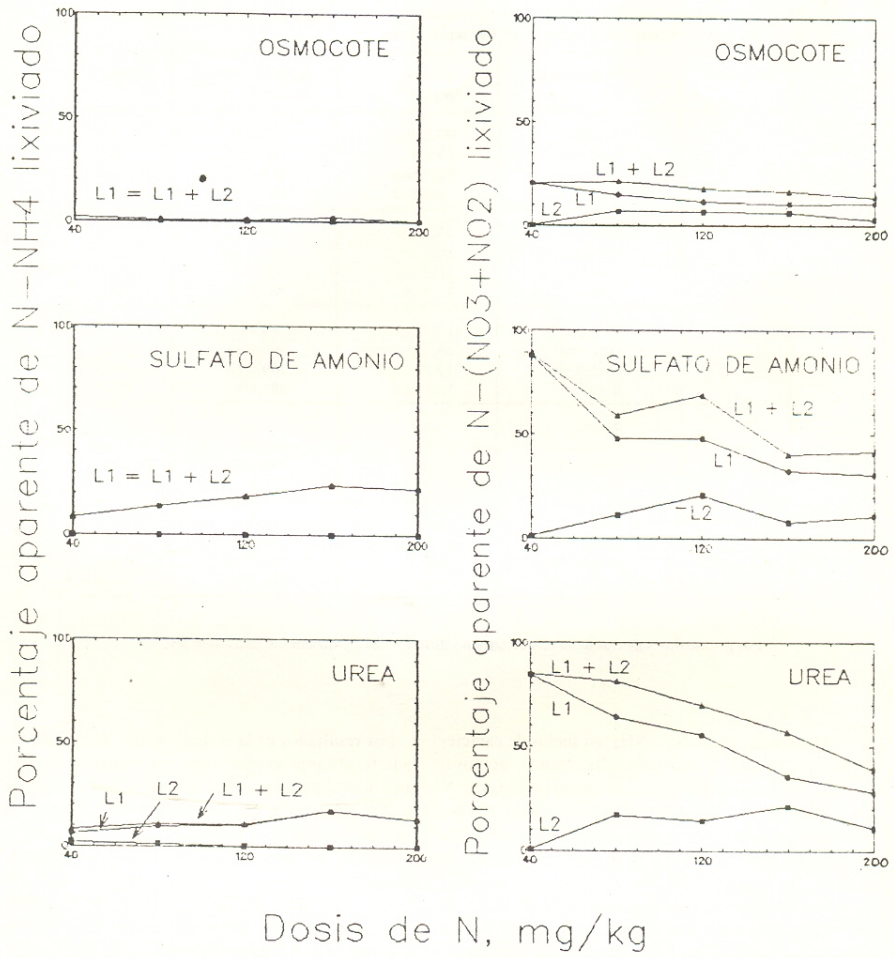

Figura 2. Lixiviación de $N-NH_4$ y $N-(NO_3 + NO_2)$ a los 7 y 14 días posteriores a la fertilización. L1 = Lavado a los 7 días y L2 = Lavado a los 14 días.

Percolado a los 14 días (**Fig. 3b**):

CE = 1,19 + 0,0020** N (Osmocote)
CE = 1,19 + 0,0064** N (Urea)
CE = 1,19 + 0,0095** N (Sulfato de amonio)

Suelo sin lavar (**Fig. 3c**):

CE = 2,84 + 0,017** N (Osmocote)
CE = 2,84 + 0,024** N (Urea)
CE = 2,84 + 0,029** N (Sulfato de amonio)

En las tres evaluaciones de efecto salino (percolado a los 7 días, percolado a los 14 días y suelo sin lavar) el patrón de comportamiento fue el mismo: la pendiente de la recta de ajuste es mayor con sulfato de amonio, intermedia con urea y menor con Osmocote 40-0-0. Se destaca que con el lavado a los 7 días no hubo influencia significativa de la dosis de Osmocote sobre la conductividad eléctrica, hecho de interés en conexión con la mayor sensibilidad de especies tales como el tomate al estado de plántula (Everett, 1973).

Los resultados de pérdidas por lixiviación y efecto salino deberían ser tomados en cuenta para elaborar pautas de fertilización y manejo del agua de riego en la producción intensiva de hortalizas. Muchos productores de la región realizan importantes gastos en fertilizantes, con una dudosa eficiencia en su aprovechamiento más el riesgo de producir efectos perjudiciales vinculados con un aumento de la salinidad en el suelo.

CONCLUSIONES

Los resultados de los experimentos de incubación y lavado presentados en este trabajo corroboran la información recopilada en la literatura extranjera con relación al menor efecto salino de los fertilizantes de liberación controlada, a la reducción de las pérdidas de N por lixiviación, y al mantenimiento más prolongado del N en forma amoniacal dentro de los gránulos de fertilizante. Esto último adquiere particular importancia al comprobarse que las pérdidas por lixiviación del N-NH_4 proveniente de fertilizantes tradicionales (ures y sulfato de amonio) son de considerable magnitud en el suelo utilizado (serie tentativa La Consulta franco arenoso), lo que sugiere considerar con cautela propuestas de control de las pérdidas de N tales como el uso de los inhibidores de la nitrificación, en suelos

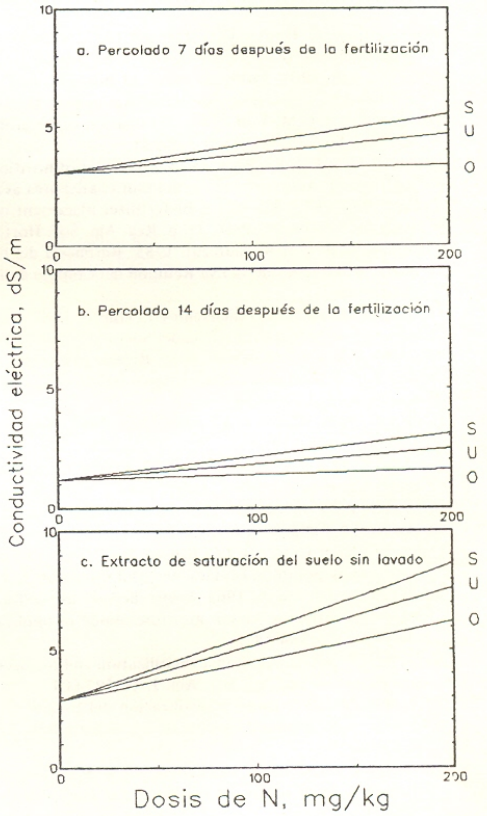

Figura 3. Evaluación del efecto salino del Osmocote 40-0-0 (O), el sulfato de amonio (S) y la urea (U) mediante determinaciones de la conductividad eléctrica en los percolados del ensayo de lavado y en el extracto de saturación del suelo sin lavado.

de características semejantes a La Consulta franco arenoso.

Si la mayor eficiencia de los fertilizantes de liberación lenta se confirma en experimentos de invernáculo con plantas de tomate y a campo bajo las circunstancias que enfrentan los agricultores, es posible que ello permita compensar los mayores precios unitarios del N de estos fertilizantes mediante una reducción en las dosis con respecto a los fertilizantes nitrogenados tradicionales.

REFERENCIAS

Allen, S.E.; C.M. Hunt y G.L. Terman. 1971. Nitrogen release from sulfur-coated urea, as affected by coating weight, placement and temperature. Agron. J. 63:529-533.

Bremner, J.M. 1965. Inorganic forms of nitrogen. *In* C.A. Black *et al.* (ed.) Methods of soil analysis. Part 2. Agron. 9:1179-1237. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.

Brown, M.A. y G.M. Volk. 1966. Evaluation of ureaform fertilizer using nitrogen-15-labeled materials in sandy soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 30.278-281.

Bundy, L.G. y J.M. Bremner. 1973. Inhibition of nitrification in soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 37:396-398.

Cox, D. y T.M. Addiscott. 1976. Sulphur-coated urea as a fertilizer for potatoes. J. Sci. Food. Agric. 27:1015-1020.

Everett, P.H. 1973. The effect of fertilizer placement on the yield of field-seeded and transplanted tomatoes grown with full-bed mulch. Proc. Trop. Reg. Am. Soc. Hort. Sci. 17:346-354.

Fittipaldi, M.B. y M.A. Jauregui. 1985. Respuesta del tomate de siembra directa a distintos fertilizantes de liberación lenta. Resúmenes de la IX*a* Reunión del Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina.

Gaviola de Heras, S.; L. Nijensohn y F. Olmos. 1987. Nitrógeno potencialmente mineralizable de cinco tipos de suelos regadíos de Mendoza. Ciencia del Suelo 5(2): 142-149.

Giordano, P.M. y J.J. Mortvedt. 1970. Release of nitrogen from sulfurcoated urea in flooded soil. Agron. J. 62:612-614.

Hays, J.T. y W.W. Haden. 1966. Soluble fraction of ureaforms-Nitrification, leaching, and burning properties. J. Agric. Food Chem. 14:339-341.

Hays, J.T.; W.W. Haden y L.E. Anderson. 1965. Nitrification of fractions from commercial ureaforms. J. Agric. Food Chem. 13:176-179.

Johnson, C.R. y D.F. Hamilton. 1977. Effects of media and controlled-release fertilizers on rooting and leaf nutrient composition of *Juniperus conferta* and *Ligustrum japonicum* cuttings. J. Am. Soc. Hort. Sci. 102-320-322.

Legg, J.O. y J.J. Meisinger. 1982. Soil nitrogen budgets. *In* F.J. Stevenson *et al.* (ed.) Nitrogen in agricultural soils. Agron. 22:503-557. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.

Lorenz, O.A.; B.L. Weir y J.C. Bishop. 1972. Effect of controlled-release nitrogen fertilizers on yield and nitrogen absorption by potatoes, cantaloupes, and tomatoes. J. Am. Soc. Hort. Sci. 97:334-337.

Lunt, O.R. y 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 to use. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 26:584-587.

Matocha, J.E. 1976. Ammonia volatilization and nitrogen utilization from sulfur-coated ureas and conventional nitrogen fertilizers. Soil Sci. Soc. Am. J. 40:597-601.

Nijensohn, L. 1977. Riego y fertilización del tomate en Mendoza: enfoques experimentales. Relatos y conclusiones del simposio Argentina productora y exportadora de derivados del tomate envasado, pp. 43-52, CITEF Mendoza, Argentina.

Nijensohn, L.; B.R. Pérez Valenzuela y J.A. Maffei. 1980. Respuesta de la papa (*Solanum tuberosum* Linn. cv. White Rose) a la fertilización en suelo regadío franco de Cacheuta: I. Parámetros edáficos de valor diagnóstico. Informe científico y técnico Nro. 21. Instituto de Suelos y Riego, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza.

Oertli, J.J. y O.R. Lunt. 1962. Controlled release fertilizer minerals by incapsulating: I. Factors influencing the rate of release. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 26:579-583.

Prasad, M. 1976a. Gaseosus loss of ammonia from sulfur-coated urea, ammonium sulfate, and urea applied to calcareous soils (pH 7.3). Soil Sci. Soc. Am. J. 40:130-134.

Prasad, M. 1976b. The release of nitrogen from sulfur-coated urea as affected by soil moisture, coating weight, and method of placement. Soil Sci. Am. J. 40:134-136.