

MINERALIZACIÓN DEL NITRÓGENO PROCEDENTE DE RESIDUOS ORGÁNICOS

M^a del Mar DELGADO¹, Miguel Ángel PORCEL¹, Rosario MIRALLES DE IMPERIAL¹, Natalia BELLIDO¹, Manuel BIGERIEGO², Eulalia BELTRÁN¹ y Rosa CALVO³

¹Uso Sostenible del Medio Natural CIT-INIA Apdo. 8111, Madrid 28080 España

²Dirección General de Ganadería C/José Abascal No. 4, Madrid 28003 España

³Servicio de Biometría SGIT-INIA, Madrid 28080 España

(Recibido diciembre 1997, aceptado noviembre 1998)

Palabras clave: mineralización del N, lodo de depuradora, residuo urbano (RSU), purín de cerdo, lixiviado

RESUMEN

El objetivo de este estudio es determinar el nitrógeno total mineralizado procedente de tres suelos que han sido mezclados con diferentes dosis de residuos orgánicos: purín de cerdo, residuo sólido urbano (RSU) y compost de lodo, después de 42 semanas de incubación en el laboratorio. Los resultados mostraron que cuando el residuo utilizado fue purín de cerdo la media del N-mineral (NH_4+NO_3) acumulado fue para el suelo A, 600 mgN- (NH_4+NO_3)/kg; para el suelo B, 313 mgN- (NH_4+NO_3)/kg y para la arena 408 mgN- (NH_4+NO_3)/kg. La media del N-mineral (NH_4+NO_3) acumulado para el lodo fue de 253 mgN- (NH_4+NO_3)/kg en el suelo A, 366 mgN- (NH_4+NO_3)/kg en el suelo B y 258 mgN- (NH_4+NO_3)/kg en la arena. Por último, con residuo sólido urbano el N está inmovilizado en los tres suelos.

ABSTRACT

The main objective of this work was to determine the total mineral nitrogen in three soils with three organic residues: pig slurry, urban waste and sewage sludge, after 42 weeks in laboratory incubation. When the residue was pig slurry the results showed that the cumulative N mineralized (NH_4+NO_3)-N for soil A was 600 mg (NH_4+NO_3)-N/kg; 313 and 408 mg (NH_4+NO_3)-N/kg for soil B and sand respectively. The cumulative N mineralized (NH_4+NO_3)-N/kg for sewage sludge was: 253 mg (NH_4+NO_3)-N/kg in soil A, 366 mg (NH_4+NO_3)-N/kg in soil B and 258 mg (NH_4+NO_3)-N/kg in sand. Finally, in urban waste, nitrogen was immobilized in the three studied soils.

INTRODUCCIÓN

El alto costo de los fertilizantes orgánicos y el deterioro progresivo de la fertilidad natural del suelo por el empleo casi exclusivo de fertilizantes minerales sintéticos, han provocado en los últimos años un marcado interés por el uso de los residuos orgánicos en la fertilización de los diferentes cultivos agrícolas (Hernández y Martínez 1987).

Por otra parte la necesidad de preservar el ambiente libre de contaminación exige la depuración de las aguas residuales antes de ser vertidas a los cauces receptores. En este proceso de depuración se generan elevadas cantidades de residuos orgánicos llamados lodos o fangos, los cuales pueden utilizarse en agricultura permitiéndose así el reciclado de la materia orgánica y de los elementos fertilizantes contenidos en ellos (Epstein y Keane 1978).

Por su contenido elevado de materia orgánica, los lodos, los purines de cerdo y los residuos sólidos urbanos tienen la capacidad potencial de suministrar energía y carbono para la actividad metabólica de los microorganismos del suelo. La velocidad con que las fuentes de nitrógeno orgánico se mineralizan depende de las propiedades del suelo y del residuo orgánico utilizado (Parker y Sommers 1983).

Conviene investigar la calidad de los residuos, con objeto de optimizar su dosis de aplicación, para evitar efectos residuales así como para aumentar la asimilación de N por los cultivos y minimizar el posible impacto de una aplicación excesiva sobre los acuíferos (Barry *et al.* 1986).

El objetivo de este estudio es determinar la cantidad de N inorgánico que se acumula en tres tipos distintos de suelos que han sido tratados con diferentes dosis de residuos, después de 42 semanas de incubación en el laboratorio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Residuos y suelos

Se utilizó la capa superficial (0-20 cm) de los suelos que previamente se secaron al aire y se tamizaron a través de una malla de 2 mm.

Los suelos proceden de la provincia de Madrid -Villanueva del Padillo- que se identifica como el suelo A (ácido), arenoso arcilloso y de Alcalá de Henares que es el suelo B, franco arcilloso, al cual se le adicionó arena lavada en relación 1:1 para facilitar su aireación. Se utilizó arena como testigo.

El compost procede de una mezcla de lodos obtenida de cinco depuradoras de Madrid (Valdebebas, Butarque, Sur, Rejas y Sur Oriental) que fueron desecados aeróbicamente durante tres meses con volteos periódicos, sin agente estructurante. Este compost se encuentra dentro de los límites que marca el Real Decreto 1310/90 por el que se regula la utilización de lodos de depuradoras en el sector agrícola.

El purín de cerdo procede de una granja situada en Fuentepelayo (Segovia) y el residuo sólido urbano (RSU) se ha recogido de la Planta de Tratamiento de Residuos Urbanos, Valdemingomez (Madrid). Las propiedades de los residuos están reflejadas en la **tabla I**.

de 35 °C y la humedad fue controlada con un higrómetro (termofix). Las muestras se mantuvieron a humedad constante equivalente al 80% de su capacidad de campo mediante una solución nutritiva formada por:

0.002	M CaSO ₄ ·2H ₂ O
0.002	M MgSO ₄
0.005	M Ca (H ₂ PO ₄) ₂ ·H ₂ O
0.25	M K ₂ SO ₄

El compost y el RSU fueron mezclados con los suelos y a la arena en las cantidades siguientes: 0, 2.4, 4.8 y 9.6 gramos por 100 gramos de suelo, lo que corresponde aproximadamente a 0, 15, 30 y 60 T por Ha.

El purín de suelos fue mezclado a los suelos y a la arena en las cantidades siguientes: 0, 8, 16 y 24 cm³ por 100 gramos de suelo, lo que corresponde aproximadamente a 0, 50, 100 y 150 m³ por Ha.

Previamente se determinó el nitrógeno inorgánico inicial, NH₄⁺ y NO₃⁻ separadamente por lixiviación con pequeñas cantidades de 0.01 M CaCl₂, hasta un total de 100 ml.

Se determinó el nitrógeno mineralizado en las 2, 4, 8, 12, 16, 24, 30, 36 y 42 semanas de incubación que se extrajeron de igual

TABLA I. CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS Y DE LOS RESIDUOS UTILIZADOS

	pH 1:2.5 H ₂ O	N total %	N-NO ₃ ⁻ mg/kg	N-NH ₄ ⁺ mg/kg	C/N	C orgánico oxidable %	C.E. dSm ⁻¹ 25°C
SUELO A	6.00	0.05	10.39	11.25	8.00	0.40	0.15
SUELO B	8.60	0.04	9.54	6.72	12.50	0.50	0.20
ARENA	6.20	-	1.47	5.13	-	-	0.08
COMPOST	6.80	2.56	411.00	60.92	6.94	17.76	4.61
RSU	7.00	1.88	317.00	1824.20	12.09	22.73	9.09
PURÍN	6.60	2.73	32.35	1678.60	4.00	10.90	17.61
METALES PESADOS (mg/kg)							
		Cu	Zn	Pb	Ni	Cr	Cd
SUELO A		14.60	35.70	44.90	8.60	22.20	0.26
SUELO B		16.00	40.10	58.70	17.70	30.30	0.38
COMPOSTA		322.00	2539.00	285.00	69.20	1420.00	5.60
RSU		265.00	357.00	176.20	23.47	26.97	0.98
PURÍN		0.62	1.95	-	-	-	-

Proceso de incubación

Los suelos y la arena fueron incubados aeróbicamente siguiendo el proceso de Stark y Clapp (1980).

Los tres residuos fueron mezclados con arena de mar, suelo A y suelo B; en el caso del suelo B se realizó con 50% de arena de mar, como ya se ha indicado anteriormente, para facilitar su aireación. Estas mezclas se colocaron en embudo de cristal (previo agregado de lana de vidrio en el fondo) para su incubación y posterior lixiviación.

La incubación se llevó a cabo en una cámara a temperatura

forma que para el nitrógeno inicial.

Se realizaron tres repeticiones de cada tratamiento, lo que hace un total de 90 muestras.

Análisis químico

El nitrógeno total del compost, del RSU, del purín y de los suelos se determinó utilizando la fórmula siguiente (Schmidt 1982):

$$N_T = N_K + N\text{-NO}_3^-$$

N_k se determinó por el método de Kjeldahl (Hesse 1971) y $N-NO_3^-$ por destilación (Bremner 1965). El nitrógeno inorgánico de los suelos, de la composta, del RSU, del purín y de los lixiviados de estos, se determinó por destilación de arrastre de vapor. Para $N-NH_4^+$ se añadió MgO con el fin de poner la disolución en medio alcalino y $N-NO_3^-$ con la aleación Devarda (Al 45%, Cu 50% y Zn 5%) para oxidar NH_4^+ a NO_3^- . Los destilados fueron valorados con H_2SO_4 0.05 N sobre ácido bórico con mezcla de indicadores (verde de bromocresol y azul de metileno) (Bremner 1965).

También se determinaron: pH: suelo/agua (1:2.5); conductividad eléctrica: suelo/agua (1:5.0) (AOAC 1984); carbono oxidable (%): método Walkley Black. Los metales pesados (mg/kg) se determinaron en un espectrofotómetro de absorción atómica (Instrumentation Laboratory modelo IL-357) previa digestión ácida con agua regia (HNO_3/HCl , 1:3) (AOAC 1984).

TABLA II. MODELOS ESTIMADOS PARA EL PURÍN DE CERDO

D_1	$Y = a + b/(1+dx)$	a = 244.4 b = -38.2 d = 0.098	CME = 713.8 $R^2 = 0.12$
$R_1S_1D_2$	$Y = a + b/(1+dx)$	a = 436.4 b = -49.3 d = 0.18	CME = 703.3 $R^2 = 0.15$
D_3	$Y = a + b/(1+dx) + cx$	a = 534.7 b = -144.8 c = -1.41 d = 0.044	CME = 48.93 $R^2 = 0.79$
D_1	$Y = a + b/(1+dx) + cx$	a = 415.2 b = -392.8 c = -2.77 d = 0.046	CME = 1012.3 $R^2 = 0.73$
$R_1S_2D_2$	$Y = a + b/(1+dx) + cx$	a = 586.4 b = -502.1 c = -2.79 d = 0.103	CME = 2061.0 $R^2 = 0.82$
D_3	$Y = a + b/(1+dx) + cx$	a = 1109.4 b = -926.9 c = -6.08 d = 0.047	CME = 1905.8 $R^2 = 0.89$
D_1	$Y = a + bx$	a = 203.4 b = 1.11	
$R_1S_3D_2$	$Y = a + bx$	a = 270.93 b = 0.68	
D_3	$Y = a + bx$	a = 288.65 b = 1.62	

Análisis estadístico

Se realizó un análisis descriptivo de los datos estimando los distintos modelos mediante regresiones lineal y no lineal. La validación de dichos modelos se comprobó por medio del análisis de la distribución de los residuos, así como de los estadísticos de la regresión (SCR, R^2 , F, etc.).

Para verificar la existencia de diferencias significativas entre las dosis cuando se ajustaba un mismo modelo se hizo un estu-

dio de paralelismo basado en la razón de máxima verosimilitud.

Tanto para los ajustes, como para el estudio de paralelismo se utilizaron los siguientes programas: MLP (maxim likelihood program. Release 3.08. Ross 1990), AR y 1R de la serie BMDP statistical software release 7.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las tablas II, III y IV muestran los modelos estimados para la mineralización del nitrógeno a lo largo del tiempo en purín (R_1) y RSU (R_2) y compost (R_3) con arena (S_1), suelo A (S_2) y suelo B (S_3) según las distintas dosis aplicadas.

Cuando el residuo utilizado es purín de cerdo (Tabla II), el modelo se ajusta a las ecuaciones siguientes $Y = a + b/(1+dx)$ para las dosis 1 y 2 y $Y = a + b/(1+dx) + cx$ para la dosis 3 en la arena, $Y = a + b/(1+dx) + cx$ en el suelo A y $Y = a + bx$ en el suelo B, comprobándose que existen diferencias significativas entre las dosis en el suelo A y la dosis 3 del suelo B y las de la arena, pero no existen diferencias para las dosis 1 y 2 del suelo B y las de arena.

Para el suelo B no se han indicado los datos debido a la gran variabilidad por lo que no serían válidos para predicción.

En el caso del RSU (Tabla III) las ecuaciones obtenidas fueron: $Y = a + b/(1 + dx)$ en la arena y $Y = a + bx + cx^2$ en los suelos

TABLA III. MODELOS ESTIMADOS PARA EL RSU

Residuos Suelos	Modelos	Parámetros Estadísticos Estimados
D_1	$Y = a + b/(1+dx)$	a = -152.3 b = 152.7 d = 0.065 CME = 1025.7 $R^2 = 0.45$
$R_2S_1D_2$	$Y = a + b/(1+dx)$	a = -103.9 b = 145.7 d = 0.15 CME = 237.6 $R^2 = 0.86$
D_3	$Y = a + b/(1+dx)$	a = -127.3 b = 169.29 d = 0.10 CME = 89.18 $R^2 = 0.95$
D_1	$Y = a + bx + cx^2$	a = -14.7 b = -2.03 c = 0.047
$R_2S_2D_2$	$Y = a + bx + cx^2$	a = -10.4 b = -6.20 c = 0.12
D_3	$Y = a + bx + cx^2$	a = -16.8 b = -7.64 c = 0.15
R_2S_3	$Y = a + bx + cx^2$	a = -8.06 b = -4.43 c = 0.12
D_2	$Y = a + bx + cx^2$	a = 12.9 b = -6.99 c = 0.15
D_3	$Y = a + bx + cx^2$	a = 24.3 b = -6.95 c = 0.19

A y B. Al hacer el estudio del paralelismo en la arena se comprueba que existe un desplazamiento vertical significativo aunque no hay diferencia significativa en los parámetros no lineales. Para el suelo ácido no se puede ajustar una ecuación porque tiene mucha variabilidad y para el suelo básico existen diferencias muy significativas entre las dosis.

Para el compost las ecuaciones fueron $Y = a + b/(1+dx) + cx$ en la arena y $Y = a + b/(1+dx)$ en los suelos A y B, comprobándose que existen diferencias muy significativas entre las dosis de los suelos A, B y en la arena, siendo igual en los no lineales pero significativamente distintos en los lineales (tabla IV).

TABLA IV. MODELOS ESTIMADOS PARA EL COMPOST

Residuos Suelos	Modelos	Parámetros Estadísticos Estimados	
D ₁	$Y = a + b/(1+dx) + cx$	a = 112.0	CME = 205.6
		b = -152.2	R ² = 0.57
		c = -0.87	
R ₃ S ₁ D ₂	$Y = a + b/(1+dx) + cx$	a = 219.4	CME = 71.6
		b = 98.1	R ² = 0.93
		c = -0.81	
D ₃	$Y = a + b/(1+dx) + cx$	a = 439.9	CME = 530
		b = 361.7	R ² = 0.93
		c = -0.10	
D ₁	$Y = a + b/(1+dx)$	a = 162.7	CME = 387
		b = -200.7	R ² = 0.84
		d = 0.43	
R ₃ S ₂ D ₂	$Y = a + b/(1+dx)$	a = 218.7	CME = 2469
		b = -296.2	R ² = 0.47
		d = 1.01	
D ₃	$Y = a + b/(1+dx)$	a = 491.8	CME = 1926.9
		b = -434.7	R ² = 0.86
		d = 0.23	
D ₁	$Y = a + b/(1+dx)$	a = 173.8	CME = 639.6
		b = -118.5	R ² = 0.60
		d = 0.17	
R ₃ S ₃ D ₂	$Y = a + b/(1+dx)$	a = 383.1	CME = 163.7
		b = -270.7	R ² = 0.97
		d = 0.18	
D ₃	$Y = a + b/(1+dx)$	a = 793.4	CME = 4845
		b = -507.7	R ² = 0.80
		d = 0.14	

En las figuras 1a, 2a y 3a se representan los modelos estimados para la mineralización del nitrógeno a lo largo del tiempo en purín de cerdo, obteniéndose una media del N-mineral (NH₄+NO₃) acumulado para el suelo A de 600.0 mgN-(NH₄+NO₃)/kg, para el suelo B de 313.0 (NH₄+NO₃)/kg y para la arena de 408.0 mgN-(NH₄+NO₃)/kg, en la última semana de incubación para los tres suelos. En el suelo más arcilloso (B), el proceso de nitrificación está más ralentizado que en el suelo más ligero (A), prolongándose por este motivo durante más tiempo la presencia de iones amonio intercambiables, ya que la duración del

proceso de nitrificación queda influenciado por las condiciones de aireación de los suelos (Sahrawat 1985).

Los modelos estimados cuando el residuo es RSU se pueden observar en las figuras 1b, 2b y 3b en las que el nitrógeno mineral está inmovilizado, consiste en la conversión de nitrógeno inorgánico en orgánico, como consecuencia de la actividad microbiana que incorpora nitrógeno en secuencias metabólicas para biosintetizar constituyentes celulares del organismo, en particular proteínas (Kelley and Stevenson 1987). Solamente aparece algo de mineralización para los suelos A y B en la semana 42.

En las figuras 1c, 2c y 3c la media del N-mineral (NH₄+NO₃) acumulado fue para el lodo de 253.0 mgN-(NH₄+NO₃)/kg en el suelo A, de 366.0 mgN-(NH₄+NO₃)/kg en el suelo B y de 258.0 mgN-(NH₄+NO₃)/kg en la arena, todos ellos en la semana 12 de incubación. Esto puede ser debido al pH, ya que la elevación del mismo trae como consecuencia un aumento de la capacidad de mineralización (Hart y Sparling 1989).

CONCLUSIONES

De los tres residuos estudiados el purín de cerdo es el que posee mayor nitrógeno mineral acumulado; comprobándose que existe una gran diferencia cuando se utilizó sobre suelo ácido (A) con un máximo de nitrógeno mineral total acumulado de 600.0 mgN-(NH₄+NO₃)/kg en la semana 24 de incubación,

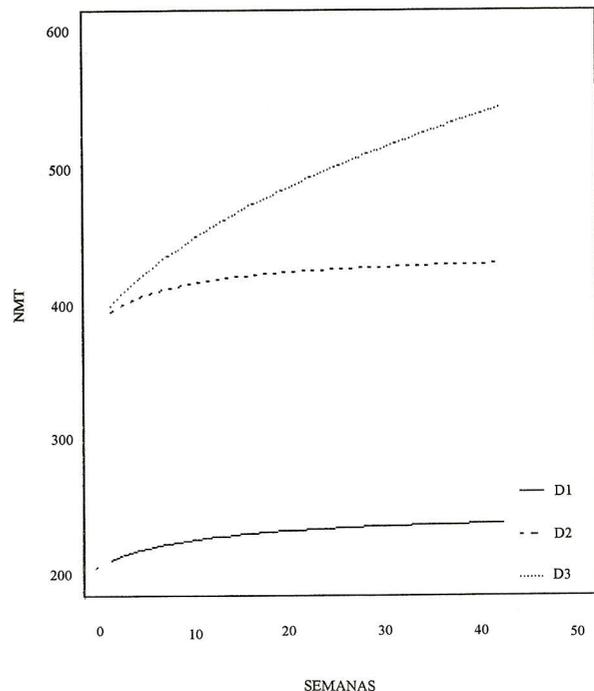


Fig. 1a. Modelos estimados en purín y arena para tres dosis

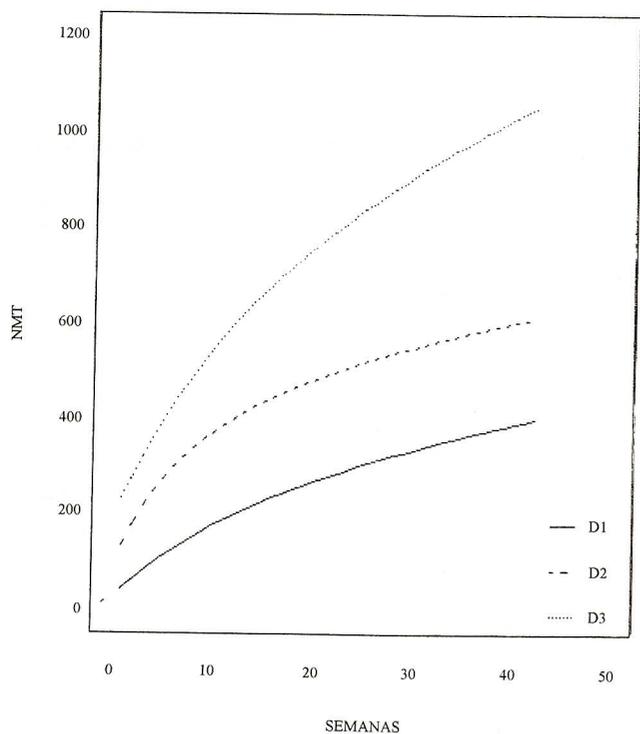


Fig. 2a. Modelos estimados en purin y suelo A para tres dosis

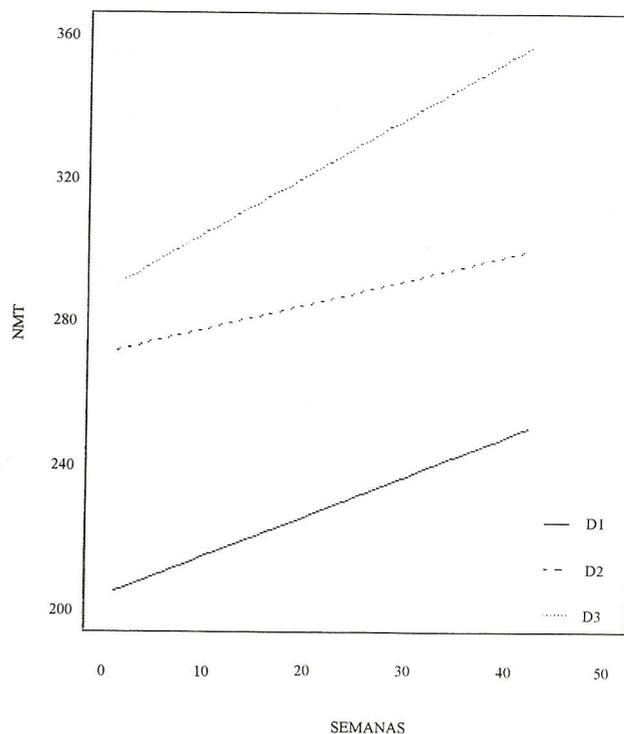


Fig. 3a. Modelos estimados en purin y suelo B para tres dosis

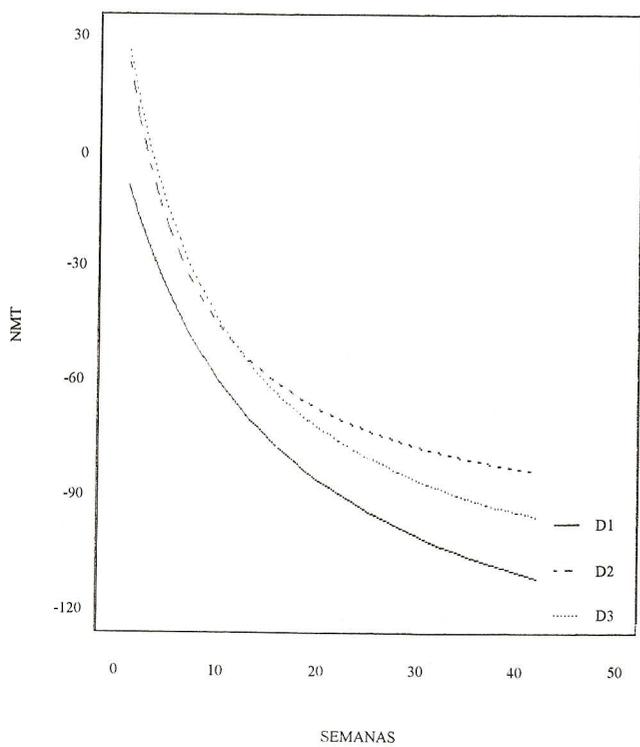


Fig. 1b. Modelos estimados en RSU y arena para tres dosis

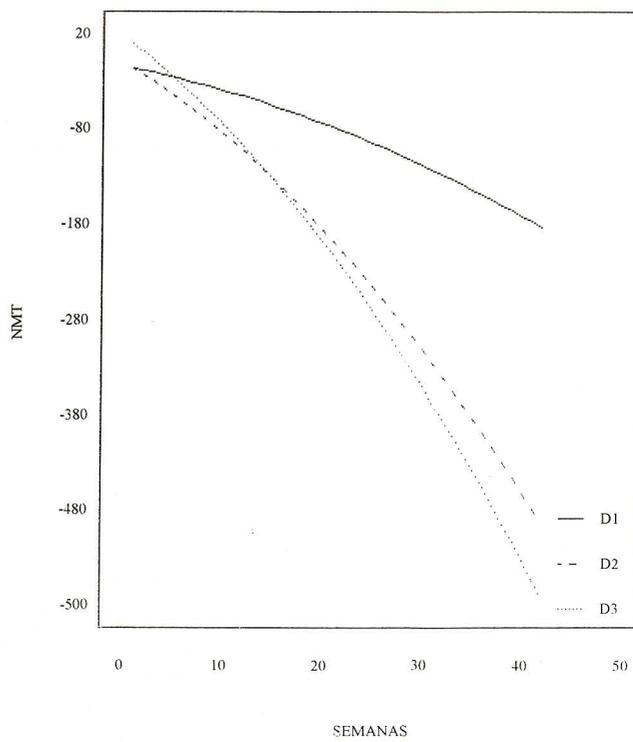


Fig. 2b. Modelos estimados en RSU y suelo A para tres dosis

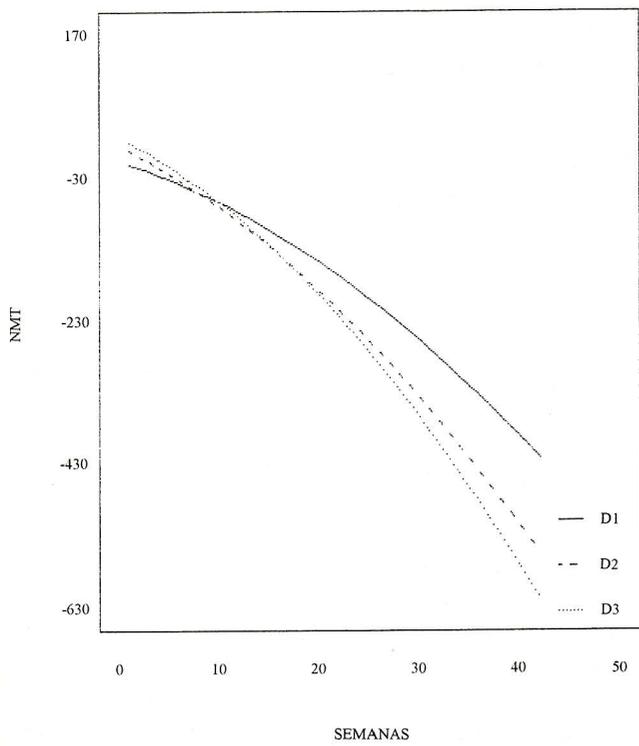


Fig. 3b. Modelos estimados en RSU y suelo B para tres dosis

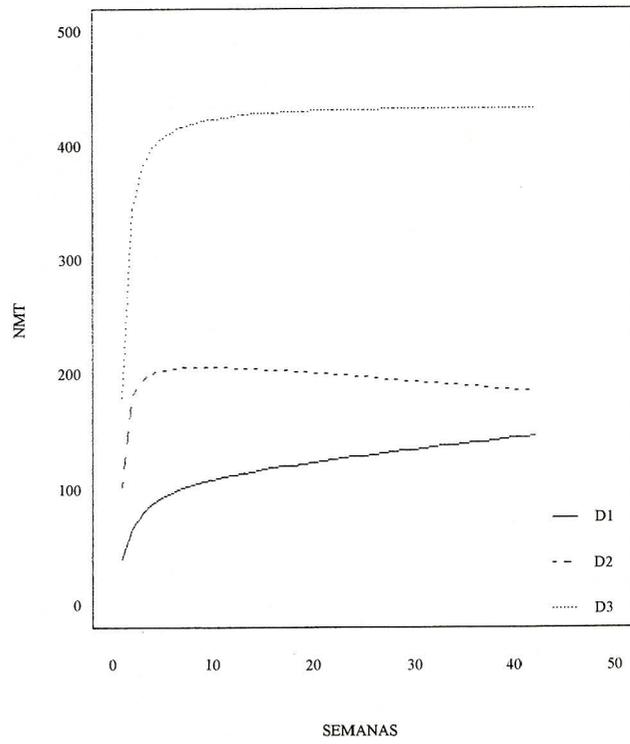


Fig. 1c. Modelos estimados en lodo y arena para tres dosis

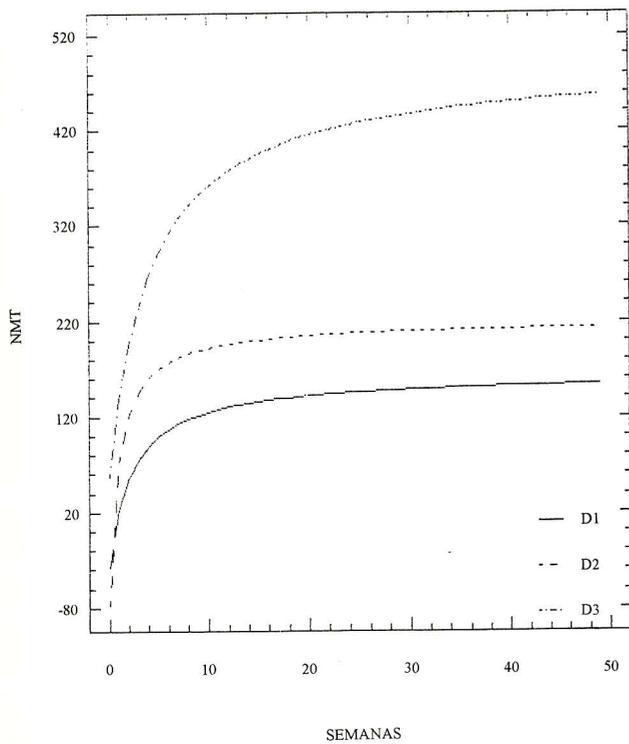


Fig. 2c. Modelos estimados en lodo y suelo A para tres dosis

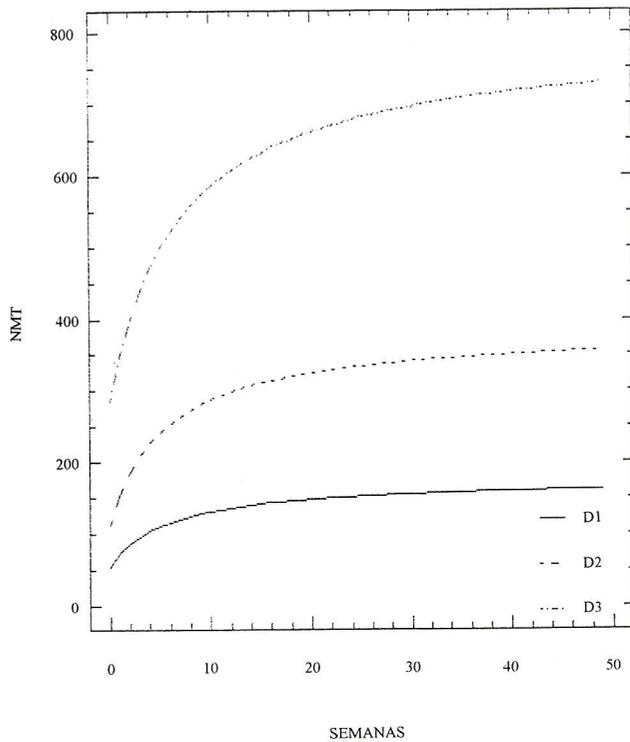


Fig. 3c. Modelos estimados en lodo y suelo B para tres dosis

respecto al contenido de 313.0 y 408.0 mgN-(NH₄+NO₃)/kg para el suelo básico (B) y arena, respectivamente, en la 42 semana de incubación.

En el compost de lodo, el máximo de nitrógeno total acumulado se obtuvo en el suelo básico con 366.0 mgN-(NH₄+NO₃)/kg en la semana 12 de incubación; mientras en el suelo A el resultado fue 253.0 mgN-(NH₄+NO₃)/kg y en la arena 258.0 mgN-(NH₄+NO₃)/kg ambos también en la semana 12.

Por último en el residuo urbano (RSU) el nitrógeno queda inmovilizado durante todo el ensayo y solamente aparece algo de mineralización para los suelos ácido y básico en la semana 42 de incubación.

REFERENCIAS

- AOAC (1984). Official methods of analysis of A.O.A.C., Washington.
- Barry E., Keffe O. y Axley J. (1986). Evaluation of nitrogen availability indexes for a sludge compost amended soil. *J. Environ. Quality*, 15, 121-128.
- Bartholomew W.V. (1965). Mineralización and immobilization of nitrogen in the decomposition of plant and soil. *Soil nitrogen*. American Society of Agronomy, Madison, pp. 287-302.
- Bremner J.M. (1965). Inorganic form nitrogen. En: *Methods of soil analysis* (C.A. Black, Ed.). Am. Soc. of Agron. Madison, Wis. 9, 1179-1237.
- Epstein E. y Keane D.B. (1978). Mineralization of nitrogen in sewage sludge and sludge compost. *J. Environ. Quality* 7, 217-222.
- Hart P.B.S. y Sparling G.P. (1989). Organic nitrogen availability as a factor in determining efficiency of nitrogen fertilizer use. *Proceeding of the Workshop Nitrogen in New Zealand Agriculture and Horticulture*. Palmerston North, pp. 261-272.
- Hernández y Martínez (1987). Efecto del encalado sobre las características biológicas y la productividad de un suelo Ferralítico Cuarcítico Amarillo Lixiviado. III acción sobre la población microbiana del suelo. *Cienc. Agron.* 31, 68-74.
- Hesse P.R. (1971). *Total the Kjeldahl process. A textbook of soil chemical analysis*. Murray, Great Britain, 520 p.
- Ishaque M. y Cornfield A.H. (1972). Nitrogen mineralization and nitrification during incubation of East Pakistan "Tea" soils relation to pH. *Plant Soil* 37, 91-95.
- Kelly K.R. y Stevenson F.J. (1987). Effects of carbon source on immobilization and chemical distribution of fertilizer nitrogen in soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51, 946-951.
- Parker C.F. y Sommers (1983). Mineralization of nitrogen in sewage sludge. *J. Environ. Quality* 12, 150-156.
- Sahrawat K.L. (1985). Rate of aerobic N transformation in acid climax forest soils and the effect of phosphorus and CaCO₃. *Commun. Forest Sci.* 31, 680-685.
- Schmidt E.L. (1982). Nitrification in soils. En: *Nitrogen in agricultural soils agronomy*. (F.J. Stevenson, Ed.). Amer. Soc. of Agron. Madison, Wis. 22, 253-288.
- Shen S.M., Prudgen G. y Jenkinson D.S. (1984). Mineralization y immobilization of nitrogen in fumigated soil and the measurement of microbial biomass nitrogen. *Soil Biol. Biochem.* 16, 437-444.