

# INCIDENCIA DEL FOSFORO EN LA MINERALIZACION DEL NITROGENO ORGANICO DE UN LODO DE DEPURADORA EN DOS SUELOS CALIZOS. EXTRACCION MEDIANTE EUF

I. Verdú, I. Gómez, F. Burló y J. Mataix

*Dpto. Agroquímica, Facultad de Ciencias, Universidad de Alicante,  
Apto. 99. 03080 Alicante*

## RESUMEN

El residuo orgánico lodo de depuradora fue incubado de forma aeróbica en dos suelos calizos con tres niveles diferentes de fósforo. La incubación se realizó, durante 180 días, en macetas ubicadas en un invernadero experimental, manteniendo el nivel de humedad. Se realizaron tres repeticiones por mezcla. La dinámica de mineralización del nitrógeno orgánico se estudió mediante extracción EUF, comprobándose que el residuo orgánico libera inmediatamente amonio cuya nitrificación se intensifica con el nivel de fósforo. La textura del suelo afecta la velocidad del proceso.

Palabras clave: Lodo de depuradora. Mineralización del nitrógeno. Fósforo, EUF. Suelos calizos.

## SUMMARY

### INFLUENCE OF PHOSPHORUS ON NITROGEN MINERALIZATION OF SEWAGE SLUDGE IN TWO CALCAREOUS SOILS. APPLICATION OF EUF PROCEDURE

Two lime soils amended with sewage sludge were incubated in pots in an experimental greenhouse for 180 days. The influence of three different phosphorus levels on the organic nitrogen mineralization has been studied by the EUF - N mineral compound extraction. The phosphorus increases the nitrification process. The sewage sludge releases great amounts of ammonium salts which nitrificate quickly. The mineralization dynamics is influenced by the clay content of the soil.

Key words: Sewage sludge. Nitrogen mineralization. Phosphorus. EUF. Calcareous soils.

## INTRODUCCION

La transformación del nitrógeno orgánico en mineral es, sin duda, el proceso clave de la dinámica de este elemento en el suelo, determinando

el grado de disponibilidad de las formas nitrogenadas asimilables para la vida vegetal.

Reciclar los resfduos orgánicos,

utilizándose en el sector agrario mediante su aplicación al suelo, es una práctica que actualmente se está realizando con un renovado interés. La adición de estos residuos al suelo tiene una notable incidencia sobre la fertilidad, no sólo porque condiciona la biodisponibilidad de los nutrientes en el sistema suelo-planta, sino porque afecta también a la riqueza nitrogenada de los ácidos húmicos determinando, por otro lado, el desarrollo de la biomasa del suelo y con ello su capacidad de mineralización (González Carcedo, 1987). 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 residuos tales como los lodos de depuradora que poseen un alto contenido en nitrógeno proteico de origen bacteriano, con objeto de optimizar su dosis de aplicación; cuestión que hay que cuidar para evitar efectos residuales, así como para aumentar la asimilación de N por los cultivos y minimizar el posible impacto ambiental sobre los acuíferos de una aplicación excesiva. Según Epstein (1978) estos lodos tienden a mineralizarse rápidamente, por ello, es útil compostarlo para

moderar su transformación y prolongar sus efectos (Mays, 1973).

El ión fosfato es un nutriente indispensable para el crecimiento y actividad de la microflora edáfica, de ahí su posible incidencia sobre el proceso de mineralización del nitrógeno orgánico. En cualquier caso, observamos resultados contradictorios respecto a dicha incidencia, como se deduce de las experiencias que indicamos:

La influencia del fósforo sobre estos procesos de mineralización del nitrógeno fué señalada por Pastor (1984). A partir de un estudio de incubación en un ecosistema forestal, observó correlación entre el nivel de fósforo asimilable y la extensión del proceso. Saharawat (1985) con suelos del mismo ecosistema, estudió la incidencia de una dosis de fósforo de  $100 \text{ mg P kg}^{-1}$  de suelo, con la que no observó ningún efecto sobre el proceso de mineralización; sin embargo, en una experiencia de fertilización a largo plazo observó, en condiciones de campo, un incremento de la población y actividad amonificante con dosis crecientes de  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

El objetivo de este trabajo, es la observación del efecto que tiene el nivel de P del suelo, sobre la dinámica de mineralización del N de un lodo de depuradora mezclado en dos suelos calizos de diversa textura.

## MATERIALES Y METODOS

### *Suelos*

Se utilizaron para la experiencia dos suelos calizos de la provincia de Alicante (suelos A y B), con un contenido muy alto de carbonato

cálcico. Sus propiedades físicas y químicas se muestran en la Tabla 1. Difieren en el contenido en arcilla, N y conductividad eléctrica.

TABLA 1

*Propiedades físico-químicas de los dos suelos.*

ANALISIS	SUELO A	SUELO B
Arcilla (%) . . . . .	38	22
Limo (%) . . . . .	31	24
Arena (%) . . . . .	31	54
Carbonato total ( g kg <sup>-1</sup> ) . . . . .	420	480
Caliza activa (g kg <sup>-1</sup> ) . . . . .	120	160
Conductividad (S m <sup>-1</sup> ) . . . . .	0.063	0.036
pH (H <sub>2</sub> O) . . . . .	7.3	7.3
Materia orgánica (g kg <sup>-1</sup> ) . . . . .	10	12
N total (g kg <sup>-1</sup> ) . . . . .	0.8	1.5
P (mg kg <sup>-1</sup> ) . . . . .	Trazas	14
K (mg kg <sup>-1</sup> ) . . . . .	330	440
Mg (mg kg <sup>-1</sup> ) . . . . .	580	570
Ca (mg kg <sup>-1</sup> ) . . . . .	3500	930
Na (mg kg <sup>-1</sup> ) . . . . .	420	760

TABLA 2

*Propiedades físico-químicas del lodo de depuradora.*

Humedad (g kg <sup>-1</sup> ) . . . . .	116
Conductividad (S m <sup>-1</sup> ) . . . . .	0.67
pH (H <sub>2</sub> O) . . . . .	6.60
Materia Orgánica (g kg <sup>-1</sup> ) . . . . .	660
Carbono orgánico total (g kg <sup>-1</sup> ) . . . . .	380
Nitrógeno total (g kg <sup>-1</sup> ) . . . . .	49
C/N . . . . .	7.8
P (g kg <sup>-1</sup> ) . . . . .	25
K (g kg <sup>-1</sup> ) . . . . .	3
Na (g kg <sup>-1</sup> ) . . . . .	2
Ca (g kg <sup>-1</sup> ) . . . . .	58
Mg (g kg <sup>-1</sup> ) . . . . .	9
Fe (mg kg <sup>-1</sup> ) . . . . .	4800
Cu (mg kg <sup>-1</sup> ) . . . . .	242
Mn (mg kg <sup>-1</sup> ) . . . . .	1411
Zn (mg kg <sup>-1</sup> ) . . . . .	102

### Lodo de depuradora

Proviene de la planta depuradora municipal de Torrevieja (Alicante). La Tabla 2 muestra sus propiedades físico-químicas.

Este residuo ha sido estudiado por García Serna (1987). Como características del mismo conviene destacar las siguientes:

- Un notable contenido en materia orgánica (66 %).
- Una relación C/N baja, favorable para la mineralización del nitrógeno.
- Valores de pH y de conductividad que no hacen suponer que su adición al suelo provoque consecuencias negativas.
- Contenido en N elevado y fácilmente mineralizable a partir de sus formas orgánicas.
- El fósforo es fácilmente mineralizable y está en cantidades positivas para el bajo nivel del mismo en los suelos alicantinos.
- El potasio presenta un nivel bajo.
- Los contenidos en metales pesados no son lo suficientemente elevados

como para hacer peligroso el uso de estos lodos en los suelos.

— Los contaminantes están por debajo de los niveles críticos aceptados por la legislación española, (BOE, 1-XI-90).

### Mezclas

Las mezclas se prepararon a partir de suelo secado al aire y residuo orgánico pulverizado en la proporción de 1.5 kg de suelo/0.06 kg de residuo orgánico, lo que es equivalente a una aplicación de 120 t ha<sup>-1</sup>. Para cada tipo de suelo se realizaron tres series con distinto nivel de fósforo y con tres repeticiones para cada una de ellas.

Los niveles eran normal, alto y muy alto según los límites establecidos por el método Burriel Hernando (Giménez y Bratos, 1985) y se obtuvieron por adición de fosfato monopotásico. También se añadió KCl a las mezclas con nivel más bajo en fósforo para igualar los contenidos en K (Tabla 3).

Las mezclas así obtenidas, se introdujeron en tiestos y se mantu-

TABLA 3

#### Contenidos en fósforo y potasio de las mezclas.

Suelos	g kg <sup>-1</sup> mezcla adicionados		mg kg <sup>-1</sup> resultantes		Nivel
	KCl	KPO <sub>4</sub> H <sub>2</sub>	K	P	
A	10.71	—	882	72	N
	2.78	20.89	969	268	A
	—	26.00	921	294	M A
B	18.06	—	1053	98	N
	10.01	24.80	1030	308	A
	—	33.20	1045	339	M A

vieron durante 6 meses en el invernadero experimental del Departamento. Para mantener el nivel de humedad se añadió dos veces por semana un volumen de agua correspondiente al 40% de la capacidad de campo. Se realizaron 6 tomas de muestra, separadas por un intervalo de 40 días para las tres iniciales y de 30 días para las tres últimas, de los 15 cm del nivel superior.

### Métodos

Se utilizó la técnica de la electro-ultrafiltración (EUF) para obtener extractos acuosos de las muestras (Cadaña, 1985; Nemeth, 1979). En estos extractos se determinó mediante métodos espectrofotométricos el nitrato por absorción ultravioleta (Norman *et al.*, 1985) y el amonio mediante absorción en el visible del azul de indofenol (Rodier, 1981).

Aplicamos la EUF mediante un programa manual de dos fracciones (Nemeth, 1985) en el seguimiento del proceso estudiado. Las presiones de succión anódica y catódica se fijaron en 0.70 y 0.45 bar respectivamente y el peso de la muestra fué de 5 g. Ante las dificultades presentadas en la suspensión del suelo para una clara separación del  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  en los respectivos colectores fué necesario mezclar los extractos anódico y catódico correspondientes antes de efectuar las medidas (Nemeth *et al.*, 1979).

Las condiciones de trabajo fueron las siguientes:

— Programa manual de dos fracciones:

—Potencial aplicado: 200 V y 400 V (intensidad variable).

—Tiempo total: 35 minutos.

—Fracciones recolectadas: —30 min., 200 V y 20 °C.

—5 min., 400 V y 80 °C.

—Volumen total: Por ser variable, decidimos llevar la primera fracción hasta un volumen constante de 200 ml y la segunda a 100 ml.

En las muestras también se determinó el N total por el método Kjeldahl modificado (Métodos oficiales MAPA, 1986) y la materia orgánica por el método de Walkley (1946). Para la extracción del fósforo asimilable se utilizó el método de Burriel Hernando (1950) con posterior desarrollo de color según el método de Murphy y Ryley (Primo Yúfera, 1973).

La textura se determinó mediante el empleo de la pipeta Robinson. La cuantificación de los carbonatos totales se realizó mediante el calcímetro de Barnard. (Métodos Oficiales MAPA, 1986). La caliza activa supone la determinación de la fracción de carbonato cálcico que reacciona con oxalato amónico y se realiza según el método anterior. Para la conductividad eléctrica, nos hemos basado en el método descrito por Bower y Wilcox que utiliza una relación suelo/agua de 1 g/25 ml (Primo Yúfera, 1973). El valor del pH se mide sobre una pasta saturada, con pH-metro dotado de electrodo de vidrio.

La determinación de los cationes asimilables se basa en el desplazamiento del  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  por  $\text{NH}_4^+$  y de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  por  $\text{Na}^+$ , en forma de acetatos. Los cationes se midieron espectrofotométricamente, los dos primeros por emisión y los segundos por absorción. Para la cuantificación

de los microelementos, seguimos el procedimiento citado por López Ritas y López Melida (1978), basado en la extracción de estos nutrientes

con DTPA y posterior medida de los mismos mediante absorción atómica.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Comentarios sobre la mineralización en el suelo A

En las figuras 1 y 2 se muestran la evolución de los contenidos de  $N-NO_3^-$  y  $N-NH_4^+$ , respectivamente, en función del nivel de fósforo. Según Nemeth, (1979) el  $N-NO_3^-$  extraído por EUF refleja el N acumulado por la fertilización nitrogenada o la aplicación de materia orgánica. La incorporación de lodo a los suelos de cultivo, aumenta el nivel de  $N-NO_3^-$  en los mismos. (Harrach, 1982).

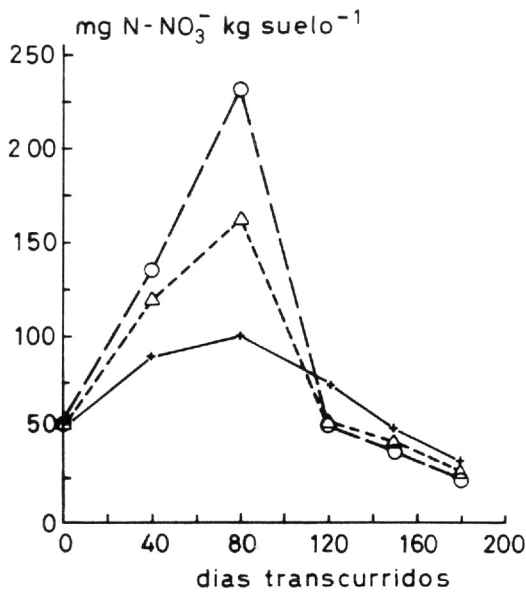


FIGURA 1

SUELO A CON LODO  
PROCESO DE NITRIFICACION

—+— P      ...△... P      -o-P  
Normal      Alto      Muy alto

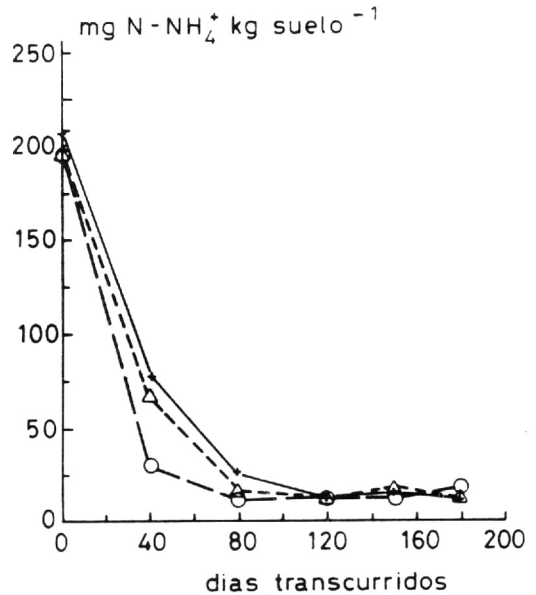


FIGURA 2

SUELO A CON LODO  
PROCESO DE AMONIFICACION

—+— P      ...△... P      -o-P  
Normal      Alto      Muy alto

La disminución del  $N-NO_3^-$ , a partir de los 80 días de experimentación, puede atribuirse a la baja concentración de  $N-NH_4^+$  presente, a su posible consumo por los microorganismos, sobre los que ciertamente tiene un efecto positivo el P, y, por tanto, a su retrodegradación, y a su acumulación en los niveles inferiores del suelo.

En la figura 1 se puede apreciar un incremento en intensidad y exten-

sión del proceso de nitrificación al aumentar la dosis de fósforo. En los tres tratamientos el proceso predomina durante los 80 primeros días, posteriormente el nivel de  $N-NO_3^-$  disminuye, alcanzándose niveles similares a los iniciales y parecidos para los tres casos. La disminución es tanto más brusca cuanto mayor sea el nivel alcanzado. Este hecho podría explicarse considerando que el proceso más lento es más continuo lo cual provoca una disminución menos brusca del  $NO_3^-$ .

El lodo de depuradora aporta de modo inmediato amonio. Tras el máximo inicial, el nivel de  $N-NH_4^+$  va disminuyendo ante el incremento paralelo de  $N-NO_3^-$  (nitrificación). En cuanto a la influencia del fósforo sobre el proceso de amonificación no puede ser deducido de los resultados por ser el proceso inmediato. Sí se aprecia que en el nivel más alto de fósforo, con una actividad nitrificante algo más intensa, se produce de modo paralelo una disminución mayor del nivel de  $N-NH_4^+$ . Las cantidades de este catión a los 80 días del proceso son muy bajas, lo cual explica la detención del proceso de nitrificación que se produce en este momento.

#### Comentarios sobre la mineralización en el suelo B

Las figuras 3 y 4 muestran que el proceso de mineralización es más rápido que en el suelo anterior. Esto es explicable si tenemos en cuenta que las mejores condiciones de aireación de este suelo, favorecen el proceso de nitrificación, junto al hecho de una mayor posibilidad de actuación sobre  $NH_4^+$ , menos fuertemente retenido.

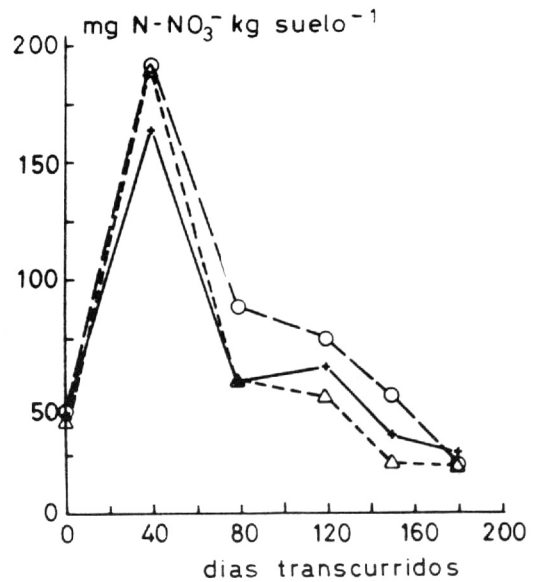


FIGURA 3  
SUELO B CON LODO  
PROCESO DE NITRIFICACION  
+ P    ...Δ... P    -o-P  
Normal    Alto    Muy alto

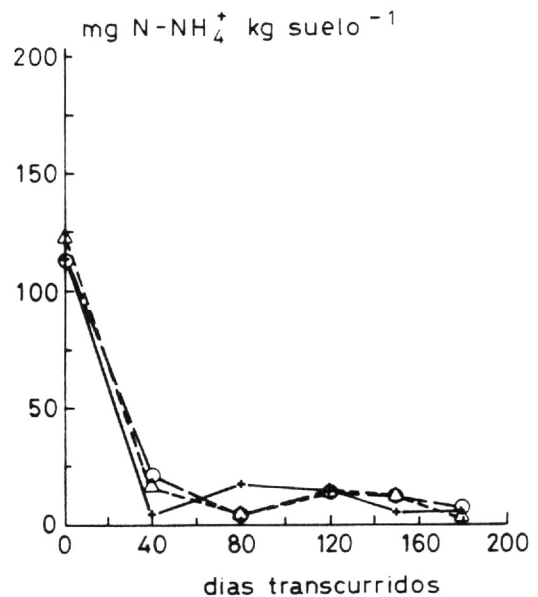


FIGURA 4  
SUELO B CON LODO  
PROCESO DE AMONIFICACION  
+ P    ...Δ... P    -o-P  
Normal    Alto    Muy alto

En la figura 3, se observa que la nitrificación en esta mezcla es más rápida pero dura menos tiempo, y alcanza una extensión menor. Se aprecia también un incremento en intensidad del proceso al aumentar la dosis de fósforo. A diferencia de las mezclas anteriores, la disminución de los contenidos de  $N-NO_3^-$  se produce tras los primeros 40 días, primero de forma brusca y luego más paulatina.

En la figura 4 podemos observar una evolución similar del  $N-NH_4^+$  para las tres mezclas. La disminución inicial es más rápida que en el suelo anterior y prosigue hasta alcanzar contenidos muy bajos de  $N-NH_4^+$ . El mínimo se alcanza a los 40 días de iniciada la incubación, momento en el que se alcanzan los máximos contenidos de  $N-NO_3^-$ .

### Tratamiento estadístico

En la Tabla 4 aparece los contenidos máximos de  $N-NO_3^-$ , y los correspondientes de  $NH_4^+$  para el mismo muestreo, observados a lo largo del proceso de mineralización con su correspondiente significación estadística.

Se observa una influencia positiva del P sobre el proceso de nitrificación. Las características de los suelos también afectan de forma significativa a esta transformación. Sin embargo, en relación a los contenidos de amonio a los 40 días, no se aprecian prácticamente diferencias significativas entre tratamientos.

Las ecuaciones de regresión de la Tabla 5 muestran la dependencia entre  $N-NO_3^-$  y el fósforo asimilable, y la correlación existente entre la

TABLA 4

*Efecto del tipo de suelo y nivel de fósforo sobre los niveles máximos de  $NO_3^-$  y los valores de  $NH_4^+$  observados.*

Suelo	Nivel P	p (mg kg <sup>-1</sup> )	N- $NO_3^-$ (mg kg <sup>-1</sup> )	N- $NH_4^+$ (mg kg <sup>-1</sup> )
A	N	72.0	99.1 a	24.0 a
	A	268.0	162.5 a	15.6 ab
	MA	294.0	231.1	11.0 abc
B	N	98.0	163.6 a	4.0
	A	309.0	189.5 a	16.5 abc
	MA	339.0	191.5	21.2 abc

Análisis de la varianza (Valores de F)

Suelo . . . . .	28.71 ***	3.21 ns
Nivel de P . . . . .	317.03 ***	0.72 ns
Suelo × N. de P. . . . .	134.65 ***	28.89 ***

\*\*\* Son significativos a nivel de  $p = 1\%$  y ns indica que no hay significación al nivel de  $p = 5\%$ . Dentro de la misma columna, los valores medios que no tienen letras en común son significativamente diferentes ( $p = 5\%$ ) según el test F (ANOVA).



TABLA 5

*Análisis de regresión.*

Suelo	Ecuación	Correlación
A	$(\text{NO}_3^-) = 0.50 (\text{P}) + 59.05$	$r = 0.90$ ***
	$(\text{NO}_3^-) = -7.30 (\text{NH}_4^+) + 287.37$	$r = 0.84$ **
	$(\text{NO}_3^-) = -2.73 (\text{NH}_4^+) + 0.36 (\text{P}) + 134.91$	$r = 0.92$ **
B	$(\text{NO}_3^-) = 0.10 (\text{P}) + 153.27$	$r = 0.85$ **
	$(\text{NO}_3^-) = 1.48 (\text{NH}_4^+) + 157.5$	$r = 0.90$ ***
	$(\text{NO}_3^-) = 1.72 (\text{NH}_4^+) - 0.018 (\text{P}) + 158.6$	$r = 0.97$ **

\*, \*\* y \*\*\* indican que el coeficiente es significativo a nivel de probabilidad 5%, 1 % y 0.1 %, respectivamente.

concentración de nitrato y los contenidos de amonio y fósforo en los dos suelos estudiados. Los altos coeficientes de correlación encontrados entre  $\text{NO}_3^-$  y P corroboran la incidencia del fósforo sobre la nitrificación.

*Comentario sobre la evolución de la materia orgánica*

La Tabla 6 muestra la evolución de la materia orgánica. Los momen-

tos de mayores pérdidas coinciden con los de mayor actividad nitrificante.

Se observa la incidencia del tipo de suelo sobre la evolución de la materia orgánica, siendo el proceso también más rápido en el suelo B. El contenido en arcilla de este suelo es más bajo, lo cual permite más fácilmente los procesos aeróbicos de la degradación.

TABLA 6

*Variación de la materia orgánica ( $\text{g kg}^{-1}$ ).*

Nivel P	Suelo	Días transcurridos					
		0	40	80	120	150	180
Normal . . . . .	A	287	213	206	198	194	183
	B	319	232	198	200	168	158
Alto . . . . .	A	284	230	213	197	185	182
	B	312	237	202	181	171	153
Muy alto . . . . .	A	277	225	214	183	182	181
	B	310	246	183	182	179	155

## CONCLUSIONES

Se ha constatado que la duración del proceso de nitrificación queda influenciado por las condiciones de aireación de los suelos. Así, en el suelo A, el más arcilloso, el proceso de nitrificación está más ralentizado que en el B, más ligero, prolongándose, por este motivo, durante más tiempo, la presencia de iones amonio intercambiables.

Se observa un efecto activador sobre el proceso de nitrificación ocasionado por el incremento de fósforo en los suelos, menos significativo en el B, sin duda a causa del mayor contenido de este nutriente en este suelo, que hace que las diferencias entre niveles sea menor

que en el suelo A, y a la rápida conversión del amonio en nitrato, de modo que a los 40 días quedan extintos los contenidos de amonio y por lo tanto paralizada la nitrificación.

Se ha puesto de manifiesto la influencia del tipo de suelo en la rapidez y extensión de degradación del residuo orgánico, facilitada en el suelo con menor contenido en arcilla.

Por último, podemos concluir diciendo que es necesario, sin duda, mantener la disponibilidad de fósforo en el suelo para el proceso de mineralización.

## BIBLIOGRAFIA

- BARRY, E., KEEFE, O. and AXLEY, J., 1986. Evaluation of nitrogen availability indexes for a sludge compost amended soil. *J. Environ. Quality.*, 15:2 121-128.
- CADAHIA LOPEZ, C., 1985. Descripción de la metodología EUF. En Estudio de la dinámica de nutrientes mediante electroultrafiltración como base de la fertilización. *Ponencias Sem. Ins. Edaf. y B. Veg.*, 23-41.
- EPSTEIN, E. and KEANE, D. B., 1978. Mineralization of nitrogen from sewage sludge and sludge compost. *J. Environ. Quality.*, 7: 217-221.
- GARCIA SERNA, J. R., 1987. Mineralización del nitrógeno orgánico en suelos calizos. Incidencia de la salinidad en el agua de riego. Tes. de licen. Fac. Ciencias. Univ. de Alicante.
- GIMENEZ, M. y BRATOS, V., 1985. Análisis de suelos. Curso para la extensión agraria de la provincia de Alicante. *Unión de Explosivos Rio Tinto*, 110-116.
- GONZALEZ CARCEDO, S., 1987. Control enzimático de la mineralización del nitrógeno orgánico. En VII Cong. Nac. de Quím. (Quím. Agric. Alim. Sevilla), 1: 233-240.
- HARRACH, T. and NEMETH, K., 1982. Effect of soil properties and soil management on the EUF-N fractions in different soils under uniform climatic conditions. *Plant and Soil*, 64: 55-61.
- LOPEZ RITAS, J. y LOPEZ MELIDA, J., 1978. El diagnóstico de suelos y plantas. Ed. Mundi - Prensa. Madrid.
- MAYS, D. A. and TERMAN, G. L., 1973. Municipal compost: Effects on crop yields and soil properties. *J. Environ. Qual.*, 2: 89-92.

- NEMETH, K., 1985. Recent advances in EUF research, 1980-1983. *Plant and Soil*, 83: 1-19.
- NORMAN, R. J., EDBERG, J. C. and STUCKY, J. W., 1985. Determination of nitrate in soil extracts by dual wavelength ultraviolet spectro - photometry. *Soil Science Soc. Am. J.*, 49: 1182-1185.
- PASTOR, J., 1984. Aboveground production and N and P cycling along a N mineralization gradient on Blackhawk Island. *Wisconsin. Commun. in Ecology*, 65: 256-277.
- PARKER, C. F. and SOMMERS, 1983. Mineralization of nitrogen in sewage sludge. *J. Environ. Qual.*, 12: 150-156.
- PRÍMO YUFERA, E. y CARRASCO DORIEN, J. M., 1973. *Química Agrícola I. Suelos y fertilizantes*. Ed. Omega. Barcelona, 307-310.
- RODIER, J., 1981. *Análisis de las aguas*. Ed. Omega. Barcelona.
- REAL DECRETO 13/10/90. (B. O. E. 1/11/90), 262, 32339-32340.
- SAHRAWAT, K. L., 1985. Rate of aerobic N transformations in six acid climax forest soils and the effect of phosphorus and  $\text{CaCO}_3$ . *Commun. Forest Sci.*, 31: 680-685.

*Recibido: 23-10-90.*

*Aceptado: 18-10-91.*