

EFFECTO DE LA ADICIÓN DE LODO RESIDUAL URBANO SOBRE LA MINERALIZACIÓN DEL NITRÓGENO, pH, Y CONTENIDOS DE P Y MATERIA ORGÁNICA EN SUELO A LO LARGO DE UN PERIODO DE INCUBACIÓN.

MONTERO VILARIÑO M^a JOSÉ; MARCET MIRAMONTES PURIFICACIÓN; ANDRADE COUCE M^a LUISA; ESTÉVEZ SÍO JESÚS.

Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente. Área Edafología y Química Agrícola. Universidad de Vigo. Apto 874. 36200 Vigo.

Abstract: Land application of sewage sludge, represents an alternative use for the disposal of organic wastes. Laboratory studies were conducted with a sewage sludge to determine their suitability for agricultural use, based on mineralizable N, and availability of phosphorus and organic carbon. Nitrogen mineralization was studied by aerobic incubation soil at 30° C, with increasing doses of sewage sludge (5, 10, 20 and 40 t/ha) and a control. Determination of pH, phosphorus and organic matter were investigated during the incubation. Nitrogen mineralization studies indicated that immobilization of N could be a problem. Negative values, ranging from -1428,55 to -248,5 mg/Kg, were obtained for net N mineralization. Negatively affecting mineralization were the C/N ratios of the sludge and soil.

Key Words: sewage sludge, soil incubation, nitrogen, mineralization, organic matter.

Resumen: La aplicación de los lodos residuales en agricultura, representa una alternativa para eliminar estos residuos orgánicos. Los estudios realizados en el laboratorio se encaminaron a determinar la viabilidad de un lodo residual de depuradora para su uso agrícola, basándose en la tasa de mineralización del N y disponibilidad de fósforo y materia orgánica. La mineralización del nitrógeno fue estudiada mediante una incubación aeróbica a 30° C del suelo tratado con dosis crecientes de lodo residual (5, 10, 20 y 40 t/ha) y un control. También fueron determinados durante la incubación el pH, fósforo y materia orgánica. La tasa de mineralización del nitrógeno sugiere que la inmovilización del N podría llegar a ser un problema. La tasa de mineralización del N presenta valores negativos comprendidos entre -1428,55 y -248,5 mg/Kg. El elevado valor de la razón C/N favorece esta inmovilización.

Palabras clave: lodo residual, incubación, nitrógeno, mineralización, materia orgánica.

INTRODUCCIÓN

La creciente producción de lodos procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales y de potabilizadoras de agua de río plantea serios

problemas para su almacenamiento, y sobre todo, para su eliminación. Entre los diferentes usos viables para estos lodos destaca su aplicación a los suelos agrícolas (Chui *et al.*, 1992; Dietz, 1992; Ottaviani *et al.*, 1991).

Por su elevado contenido en materia orgánica y elementos nutritivos, la aplicación de lodo puede utilizarse para mejorar las fitopropiedades del suelo y también para reemplazar parcialmente el uso de fertilizantes comerciales. El lodo, además de favorecer la asimilación de nutrientes, incrementa la retención de agua, permite una mejor penetración de las raíces y mejora la textura y estructura del suelo. Por ello, a la hora de utilizar lodos como fertilizantes organo-minerales, es necesario considerar la modificación de las propiedades físicas, químicas y bioquímicas del suelo, que estos pueden comportar.

Uno de los muchos problemas asociados al uso de lodos residuales como fertilizantes, es su efecto sobre el ciclo de los nutrientes en los suelos; esto hace necesario disponer de información acerca del grado de inmovilización y mineralización de los diferentes nutrientes en los suelos tratados con lodos (Carter, 1980; Chae y Tabatabai, 1986).

El conocimiento de la disponibilidad de nitrógeno añadido con los lodos residuales al suelo es particularmente importante y es por ello el nutriente que recibe mayor atención (Cooper, 1975; Chae y Tabatabai, 1986; Beloso *et al.*, 1993).

Se han desarrollado numerosos experimentos de laboratorio encaminados a estimar la tasa de mineralización de N, con el objetivo de predecir la disponibilidad de este elemento en suelos tratados y sin tratar con lodo (O'Kneefe, 1983; Barbarika *et al.*, 1985). Las incubaciones en laboratorio se llevan a cabo bajo condiciones estandarizadas y constantes, siendo evaluados los efectos de las posibles variaciones de factores como T, pH, relación C/N, etc., especialmente relacionados entre sí.

Las tasas de mineralización varían en el primer año, según diversos autores, desde un 15% hasta un 92% (Sims, 1990). Esta transformación es compleja y depende del tipo de suelo, pH, temperatura, aireación, relación C/N, cantidad de N amoniacal y contenido en materia seca (Pomarés, 1992).

El objetivo de este trabajo fue estudiar los efectos de la adición de diferentes dosis de lodo residual urbano a un suelo, así como la evolución del pH, materia orgánica, fósforo y mineralización del nitrógeno a lo largo de un periodo de incubación aeróbica de setenta y cinco días.

MATERIAL Y MÉTODOS

Material

Lodos. - Se han utilizado lodos procedentes de la estación depuradora de aguas residuales de Santiago de Compostela. El tratamiento de estas aguas comprende su paso por un digestor aerobio, seguido de dos etapas de decantación; los lodos obtenidos son tratados con FeCl_3 y Ca(OH)_2 , y finalmente se someten a un proceso de secado en un filtro prensa. Las características químicas de este lodo fueron estudiadas por Otero *et al.* (1996) (Tabla 1).

Suelo. - Para este estudio fue seleccionado el horizonte A (capa arable, 30cm) de un Cambisol húmico con textura franco-arenosa, dedicado en los últimos años a barbecho, sin adición de fertilizante durante ese tiempo y sometido a débil pastoreo (Tabla 1).

Tabla 1.- Características generales del suelo y del lodo.

CARACTERÍSTICAS	LODO	SUELO
Materia seca %	36.16	--
Cenizas %	36.50	--
PH (H ₂ O)	10.20	5.33
C%	43.14	3.04
N% (total)	0.68	0.25
NH ₄ ⁺ -N mg/kg	3343.56	0.00
NO ₃ ⁻ -N + NO ₂ ⁻ -N mg/kg	63.24	0.00
Materia orgánica %	74.37	5.24
P (asimilable) mg/Kg	120.00	46.00
P (total) % P ₂ O ₅	1.50	0.07

Métodos

Se han incubado en el suelo, durante 75 días, cuatro dosis diferentes de lodo (T5, T10, T20, T40 de 5, 10, 20 y 40 t/ha). Los resultados se han comparado con los obtenidos para un suelo control (B) y los de otro fertilizado inorgánicamente (F 200:120:100 Kg/ha de N, P y K respectivamente). La elección de las dosis se ha hecho atendiendo a los requerimientos del suelo, en elementos nutritivos, para ello se ha considerado la tasa de mineralización del nitrógeno orgánico del lodo (Genevini *et al.*, 1986), y al contenido en metales potencialmente tóxicos del mismo.

Cada tratamiento se efectuó por triplicado (a, b, c) en placas de 10 cm de diámetro, conteniendo cada uno de ellas 45 g de suelo seco al aire, tamizado por una luz de 2mm y llevado a capacidad de campo. Se introdujeron en una estufa de cultivo a 30° C, tomando muestras a los 15, 45 y 75 días (t1, t2 y t3).

Se utilizaron los métodos indicados por Guitián y Carballas (1976) para las determinaciones de pH en agua y contenido total de carbono, determinado por oxidación por vía húmeda con $K_2Cr_2O_7$ en medio sulfúrico. El contenido en materia orgánica fue calculado multiplicando el contenido total de carbono por el factor de van Bemmelen (1,726) que utilizan Genevini *et al.*, (1986) para este tipo de materiales.

El contenido total de N se determinó por digestión Kjeldahl y destilación con arrastre de vapor, utilizando el método de Bremner (1965) modificado por Guitián y Carballas (1976). El nitrógeno inorgánico (amoniacal, nitritos y nitratos) fue determinado según se indica en IPLA (1984), mediante tratamiento con KCl y MgO y posterior destilación Kjeldahl (NH_4^+) y, sobre el residuo de la misma, adición de Aleación Devarda y nueva destilación para determinación de NO_2 y NO_3 . El análisis del contenido de Pasimilable se realizó según el método descrito por Olsen y Sommers (1987).

Estudio de la mineralización del nitrógeno

Los parámetros de la mineralización del

nitrógeno, determinados a partir del estudio de incubación, fueron:

Nm = Nitrógeno mineralizado neto de cada muestra después de 75 días, calculado en función de la mineralización del N del suelo y el nitrógeno inorgánico inicial (N_i) añadido con cada dosis de lodo.

Donde:

$$Nm = (N_{adj})_{t=75} - (N_{adj})_{t=0}$$

$$N_{adj} = (N_i)_{AS} - (N_i)_S$$

$$N_i = (NH_4-N) + (NO_3-N) \text{ (mg/Kg)}$$

AS = suelo tratado con lodo

S = suelo sin tratar

RESULTADOS Y DISCUSION

La transformación sufrida por el nitrógeno, en el suelo tratado con diferentes dosis de lodo residual a lo largo de la incubación, se muestra en la Figura 1, que representa la mineralización del N-orgánico de las distintas dosis de lodo ($N_{inorgánico}_{AS} - N_{inorgánico}_S$).

La incorporación de lodo al suelo se traduce en un incremento inmediato del N inorgánico, principalmente como NH_4-N (Tabla 2).

A pesar de este incremento inicial de N inorgánico con los diferentes tratamientos, los valores de N_{adj} en todos los casos son menores que cero, excepto para las muestras de los tratamientos T5 y T40 correspondientes al último muestreo (N_{adj} 227 y 144 mg/kg) (Fig. 1), esto sugiere una rápida inmovilización del N aportado ($N_{inorgánico}$ inicial + $N_{mineralizado}$ a $t=4$) (Sims, 1990).

Los valores negativos de N_{adj} reflejan una continua mineralización del N en suelos no tratados con lodo y una ligera o nula acumulación de NO_3-N en los tratamientos T10 y T20. Los valores positivos al final de la incubación, en los tratamientos T5 y T40 sugieren que la mineralización del N en estos suelos fue mayor que en el control.

Desde el momento inicial hasta el primer muestreo, a los 15 días, los valores de N_{adj} disminuyen en todos los tratamientos (Figura

Tabla 2.- Nitrógeno inorgánico producido (mg N/100gr suelo) en un suelo sin y con adición de cuatro dosis diferentes de lodo residual y de fertilizante, durante 75 días de incubación.

	Nitrógeno inorgánico total						NO ₃ ⁻ -N						NH ₄ ⁺ -N					
	t ₀	t ₁	t ₂	t ₃	t ₀	t ₁	t ₂	t ₃	t ₀	t ₁	t ₂	t ₃	t ₀	t ₁	t ₂	t ₃		
B	0.00	54.9	57.7	39.3	0.00	0.00	5.7	2.60	0.00	54.9	52.0	36.7						
F	756.60	217.9	218.2	179.2	561.03	88.70	73.8	34.00	195.71	129.2	144.4	145.2						
T5	22.41	42.4	55.3	62.0	0.41	0.00	20.8	23.50	22.00	42.4	35.3	38.2						
T10	41.77	43.5	33.3	31.3	0.77	0.00	4.6	0.00	41.00	43.5	28.7	31.3						
T20	74.38	38.6	37.8	30.7	1.38	0.00	9.5	0.00	73.00	38.6	28.3	30.7						
T40	122.27	53.3	37.7	45.1	2.27	5.50	0.0	0.00	120.00	47.8	37.7	45.1						

Tabla 3.- C orgánico, Materia orgánica, C/N, P asimilable y pH a lo largo de 75 días de incubación de un suelo tratado con 4 dosis diferentes de lodo residual y con fertilizante inorgánico.

	C%				N _{total}				C/N				P asimilable (mg/kg)				pH			
	t ₀	t ₁	t ₂	t ₃	t ₀	t ₁	t ₂	t ₃	t ₀	t ₁	t ₂	t ₃	t ₀	t ₁	t ₂	t ₃	t ₀	t ₁	t ₂	t ₃
B	3.04	4.63	3.8	3.1	0.2	0.3	0.3	0.3	12.1	14.4	12.5	8.43	46.5	30.9	29.3	43.1	5.3	6.0	5.6	5.3
F	3.04	3.78	3.2	2.3	0.5	0.5	0.4	0.4	5.84	7.41	7.48	5.40	422.	246.	265.	331.	4.2	5.6	5.8	5.7
T5	5.68	7.40	3.1	4.2	0.2	0.3	0.3	0.3	20.2	18.9	9.64	12.4	51.3	--	46.2	55.2	6.1	6.4	5.7	5.3
T10	8.0	4.12	3.7	4.4	0.3	0.4	0.4	0.3	26.6	9.58	8.79	12.4	55.6	41.9	56.7	79.3	6.5	6.6	6.6	6.7
T20	11.8	13.1	4.3	3.1	0.3	0.5	0.5	0.4	33.9	24.8	7.85	7.78	62.7	85.7	88.0	95.0	7.0	8.1	6.9	6.9
T40	17.5	18.7	4.9	4.9	0.4	0.6	0.6	0.5	43.8	28.0	7.88	9.67	73.0	104.	155.	147.	7.4	8.1	7.0	6.9

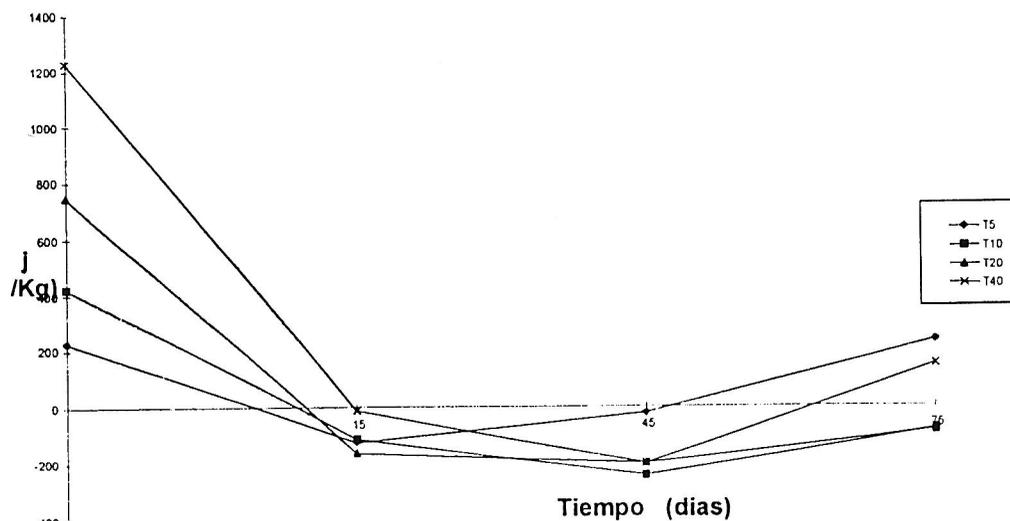


Figura 1.- Mineralización del nitrógeno en un suelo tratado con cuatro dosis de lodo residual (N inorgánicoAS-N inorgánicos).

1), desde t1 a t2 hay un ligero descenso en todos los casos excepto para T5, en el que a partir de T2 los valores de N_{adj} aumentan.

El incremento de N_{adj} en el tratamiento T5 puede haber sido causado por el incremento del contenido de NO_3-N en el suelo, lo que indica que no hubo inhibición de nitrificación ni de amonificación (Sims 1990).

Para los tratamientos T10 y T20 los valores de N_{adj} durante la incubación son menores que cero. La causa de esta inmovilización de N puede ser debida a la gran cantidad de C añadida con el lodo (Tabla 3), ya que la descomposición de materiales orgánicos con relaciones $C/N > 25$ tiene como resultado la inmovilización del N inorgánico ya existente o añadido (Paul y Clark, 1989, Sims, 1990).

La cantidad neta de N-orgánico mineralizado (Nm), fue siempre negativa excepto al final de la incubación para el tratamiento T5 (Tabla 4). Los valores más elevados fueron obtenidos con T5 (2.58), presentando el valor más bajo de la relación C/N.

Los valores del pH al final de la incubación se indican en la Tabla 3. La incorporación de lodo al suelo se traduce en un aumento del pH a tiempo cero, coincidente con un aumento de la cantidad de lodo en cada tratamiento pero, a partir de t1 tiene lugar un ligero descenso del pH (excepto T10) de alrededor de 0,5 unidades a lo largo de los 75 días de incubación (Tabla 3).

Tabla 4.-Cantidad neta (mg-Kg-1) de nitrógeno orgánico mineralizado (Nm) en un suelo tratado con cuatro dosis de lodo a lo largo de un periodo de 75 días de incubación.

	t ₁	t ₂	t ₃
F	-5936.57	-5961.57	-6167.57
T5	-349.15	-248.15	2.58
T10	-534.56	-664.56	-500.56
T20	-908.23	-944.23	-813.23
T40	-1244.55	-1428.55	-1084.55

La acidificación del suelo no es extraña cuando se incorporan lodos residuales. Normalmente este descenso de pH está asociado a la transformación de $\text{NH}_4\text{-N}$ a $\text{NO}_3\text{-N}$ o a la producción del CO_2 que da lugar a la formación de ácido carbónico. Esto coincide con la mayoría de los datos bibliográficos disponibles (Piétz *et al.*, 1989; Fresquez *et al.*, 1990).

Además, trabajos realizados con suelos arenosos y franco arenosos muestran una disminución del pH del suelo debida a la presencia de ácidos orgánicos y H_3O^+ procedentes de la descomposición de la materia orgánica (Narwal *et al.*, 1983).

El contenido de materia orgánica, tanto en el control como en los tratamientos (excepto T_{10}), experimentó un incremento desde t_0 a t_1 (Fig.2, y Tabla 3) asociado al aumento de la masa microbiana como respuesta a la incorporación del lodo al suelo. A partir de los primeros 15 días de incubación, es evidente un descenso del contenido de materia orgánica, debido al proceso de mineralización de ésta. Las concentraciones más bajas de materia orgánica coinciden con los valores más elevados de P asimilable (t_3), ya que éste procede en su mayor parte de la mineralización del fósforo orgánico. Los valores de pH, en todos los casos cercanos a la neutralidad, favorecen la

disponibilidad del P que tiene su máximo entre 6,5 y 7,5.

CONCLUSIONES

En los suelos tratados con diferentes dosis de lodo tiene lugar una inmovilización del N inorgánico ya existente en el suelo y el N añadido como fertilizante, debido al elevado valor de la relación C/N. Esta inmovilización podría ocasionar deficiencias de N en las plantas, a no ser que se corrija con un suplemento de fertilizante nitrogenado.

AGRADECIMIENTOS

A la colaboración técnica prestada por Rocío Iglesias Alonso.

BIBLIOGRAFIA

BARBARIKA, A., SIKORA, L.J., COLACCICO, D. (1985): Factors affecting the mineralization of nitrogen in sewage sludge applied to soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 1403-1406.

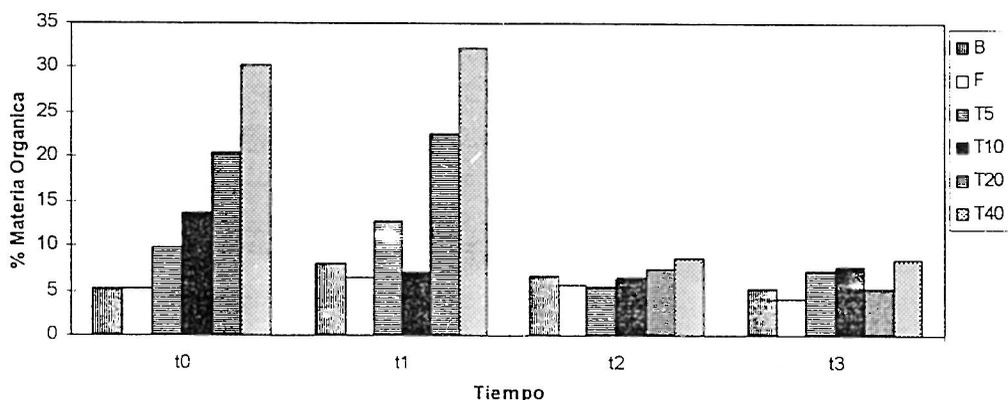


Figura 2.- Influencia de la adición de diferentes dosis de lodo sobre el contenido en materia orgánica de un suelo, a lo largo de la incubación (0, 15, 45 y 75 días).

- BELOSO, M.C., VILLAR, M.C., CABALEIRO, A., CARBALLAS, M., GONZALEZ-PRIETO, S., CARBALLAS, T. (1993): Carbon and nitrogen mineralization in an acid soil fertilized with composted urban refuse. *Bioresource Technology* 45, 123-129.
- BREMNER, J.M. (1965): Nitrogen availability indexes. In *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, 20 eds. C.A. Black, D.D. Evans, L.E. Ensminger & F.E. Clark. American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 1324-45.
- CARTER, J.E. (1980): Organic farming becomes "legitimate". *Science* 209, 254-256.
- CHAE, Y.M., TABATABAI, M. (1986): Mineralization of nitrogen in soil amended with organic wastes. *J. Environ. Qual.* 15, 193-198.
- CHUI, V.W.D., LAM-LEUG, S.Y., CHEUNG, M., WU, D.K.C. (1992): The use of sewage sludge as basal dressing for vegetable cultivation. *Environmental International*. 18, 201-209.
- COOPER, J.E. (1975): Nitrification in soil incubated with pig slurry. *Soil Biol. Biochem.* 7, 119-124.
- DIETZ, T. (1992): Agricultural use of sewage sludge in the nineties, advantages and risks. *Ber. Wasser. Abfallwirtsch. Tech.* Univ. Munchen. 110, 53-63.
- FRESQUEZ, P., FRANCIS, R., DENNIS, G. (1990): Sewage sludge effects on soil and plant quality in a degraded semiarid grassland. *J. Environ. Qual.* 19, 324-329.
- GENEVINI, P.L., VISMARA, R., MEZZANOTTE, V. (1986): Utilizzo agricolo dei fanghi di depurazione. *Quaderni Ingegneria Ambientale, Inquinamento e depurazione.* n° 5. Milano.
- GUITIÁN, F., CARBALLAS, T. (1976): *Técnicas de análisis de suelos.* Ed. Pico Sacro. Santiago de Compostela.
- IPLA, (1984): *Metodi analitici. Fertilizzanti organici, compost, fanghi degli impianti di depurazione, rifiuti organici, substrati in fermentazione metanica, biogas.* IPLA. eds. Milan.
- NARWAL, R.P., SINGH, B.R., PANHWAR, A.R. (1983): "Plant availability of heavy metals in a sludge treated soil: effect of sewage sludge and soil pH on the yield and chemical composition of Rape". *J. Environ. Qual.*, 12 (3), 358-365.
- O'KNEEFE, B.E. (1983): *Evaluation of nitrogen availability indexes on a compost amended soil.* M.S. Thesis. Univ. of Maryland.
- OLSEN, S.R., SOMMERS, L.E. (1987): in *Methods of Soil Analysis* 421-422.
- OTERO, J.L., ANDRADE, M.L., MARCET, P. (1996): Caracterización química y evaluación agronómica de dos tipos de lodos residuales. *Investigaciones Agrarias* 11, 71-86.
- OTTAVIANI, M., SANTARSIERO, A., DE FULVIO, S. (1991): Hygienic, technical and legislative aspects of agricultural sewage sludge usage. *Acta Chim. Hung.* 128, (4-5), 535-543.
- PAUL, E.A., CLARK F.E. (1989): Transformation of nitrogen between the organic and inorganic phase and to nitrate. in *Soil microbiology and Biochemistry.* Academic Press, San Diego, 131-146.
- PIETZ, R.I., CARLSON, C.R., PETERSON, J.R., ZENZ, D.R., LUE-HING, C. (1989). "Application of sewage sludge and other amendments to coal refuse material: I. Effects on chemical composition". *J. Environ. Qual.*, 18, 164-169.
- SERNA, M.D., POMARES, F. (1992): "Indexes of assessing N availability in sewage sludges". *Plant and Soil.* 139, 15-21.
- SIMS, J. (1990): Nitrogen mineralization and elemental availability in soils amended with cocomposted sewage sludge. *J. Environ. Qual.* 19, 669-675.