

## APLICACIÓN DE LODO RESIDUAL EN DOS SUELOS FORESTALES DEGRADADOS. EVOLUCIÓN DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS Y DE LA TASA DE MINERALIZACIÓN DE NITRÓGENO

P. MARCET MIRAMONTES, S. GONZÁLEZ PIMENTEL, M.L. ANDRADE COUCE, E. FERNÁNDEZ COVELO

Departamento de Biología Vegetal y Ciencia del Suelo. Facultad de Ciencias. Universidad de Vigo. Lagoas- Marcosende. Vigo (36200). e-mail: marcet@uvigo.es.

**Abstract.** The purpose of this study was to evaluate the effects of urban sewage sludge applied on two disturbed forest soils. Addition of the sludge to the soil increased the organic matter content and the CEC. The pH decreased during the incubation period. Available heavy metal concentration was not increased in the soil by the sludge application. This result was expected, since the sludge used contained very low levels of heavy metals. Net N-mineralization was always positive, and increases during the incubation period. The increase in the sludge application caused, also, an increase in the net N-mineralization. The highest values occurred after 45 days incubation and applied 50Mg/ha on soil 1, and 25 Mg/ha on soil 2. Content  $\text{NO}_3\text{-N}$  increased after 45 days incubation with all sewage applications. The highest values occurred when were applied 50Mg/ha.

These results suggest that the urban sewage sludge application studied is satisfactory for forest soils reclamation.

**Key words:** sewage sludge, N-mineralization, organic matter, reclamation soils.

**Resumen.** El objetivo del trabajo es evaluar la aplicación de lodos procedentes de una EDAR a suelos forestales degradados. Los resultados muestran un descenso del pH, y un aumento del contenido de materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico efectiva. Los contenidos de metales en forma bioasimilable son inferiores a los que pudieran causar problemas de toxicidad. La tasa de mineralización neta es siempre positiva, aumentando con el tiempo de incubación y con la dosis de lodo añadida. Alcanza el máximo a los 90 días con 50 Mg/ha en el suelo 1, y con 25 Mg/ha en el suelo 2. El contenido de  $\text{NO}_3\text{-N}$  sufre un fuerte incremento a partir de los 45 días de incubación, con todas las dosis, alcanzando su máximo cuando se aplicó 50Mg/ha en los dos suelos. Estos resultados sugieren que la aplicación de lodos residuales en suelos forestales degradados es una medida viable para su recuperación.

**Palabras clave:** lodo residual, mineralización nitrógeno, materia orgánica, recuperación suelos.

TABLA 1: Características generales de los suelos utilizados para el ensayo.

	SUELO 1	SUELO 2
<b>pH</b>	4,9	4,8
<b>M.O gkg<sup>-1</sup></b>	8,03	34,5
<b>N t gkg<sup>-1</sup></b>	1,3	0,8
<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> gkg<sup>-1</sup></b>	0,029	0,028
<b>N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> mgkg<sup>-1</sup></b>	0,00	0,00
<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> mgkg<sup>-1</sup></b>	0.006	0,001
<b>CICcmol<sub>(+)</sub>.kg<sup>-1</sup></b>	6,06	1,9
<b>Cu asim. mgkg<sup>-1</sup></b>	n.d.	n.d.
<b>Fe asim. mgkg<sup>-1</sup></b>	0,99	1,01
<b>Mn asim. mgkg<sup>-1</sup></b>	11,21	10,9
<b>Ni asim. mgkg<sup>-1</sup></b>	n.d.	n.d.
<b>Pb asim. mgkg<sup>-1</sup></b>	n.d.	n.d.
<b>Zn asim. mgkg<sup>-1</sup></b>	0,52	0,61
<b>Cr asim. mgkg<sup>-1</sup></b>	n.d.	n.d.
<b>Cd asim. mgkg<sup>-1</sup></b>	n.d.	n.d.

## INTRODUCCIÓN

En la comunidad gallega existen numerosas zonas alteradas a causa de actividades antrópicas, de ellas destacan importantes extensiones forestales que han sufrido los efectos de la deforestación, de los incendios y de la posterior erosión, lo cual conlleva a importantes alteraciones de los ecosistemas y particularmente del suelo. Estas modificaciones en el suelo afectan a la pérdida o incorporación de nutrientes, reducciones del contenido en materia orgánica, de la capacidad de intercambio catiónico, de la capacidad de retención hídrica y descensos del pH entre otros. Las pérdidas de materia orgánica que en muchos casos sufren los suelos tras su degradación, aconsejan la restitución de sus niveles mediante la incorporación de materiales de naturaleza orgánica. Por este

motivo existen numerosas investigaciones sobre subproductos orgánicos, como los lodos de depuradora, con alto contenido de materia orgánica y su aplicación en el suelo (Bergkvist,2003; Siddique y Robinson, 2003; Sierra *et al.* 2001; Smith, 1996; Wang *et al.*, 2003;).

Al mismo tiempo, la elevada producción de lodos procedentes de las estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas, que es preciso eliminar con el menor coste económico y ecológico posible ha provocado la aparición de diversos problemas, el destino de estos lodos es uno de los que mas preocupantes. En numerosas ocasiones el destino final de estos materiales permite un adecuado aprovechamiento, puesto que pueden contener, como ya dijimos, un importante poder nutritivo, un considerable potencial energético, y unas características

de composición que los hacen adecuados para su empleo como enmienda de suelos degradados.

Por todo ello, el objetivo general de este trabajo es evaluar la posibilidad del empleo de lodos de estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas para la rehabilitación de suelos forestales degradados, con el fin inmediato de mejorar su capacidad para acoger una cubierta forestal.

**MATERIAL Y MÉTODOS**

Para la realización de este trabajo se han seleccionado dos Regosoles antrópicos (FAO, 1998) (Tabla 1):

Suelo 1: suelo forestal con repoblación joven (1 mes) de caducifolios, previamente sufrió retirada de la vegetación autóctona, movimiento de tierras y paso de maquinaria, entre otras modificaciones.

Suelo 2: suelo forestal desnudo, retirada de la plantación anterior de Eucaliptos, movimiento de tierras, paso de maquinaria, etc, con evidencias de erosión hídrica.

Los lodos residuales utilizados en la experiencia proceden de la estación depuradora de aguas residuales de la ciudad de Vigo (Tabla 2).

**Diseño experimental**

Se llevó a cabo una incubación aeróbica, a temperatura constante (25°) en estufa de cultivo, de los dos suelos en macetas (superficie 488 cm<sup>2</sup>), a los que se le aplicaron tres dosis de lodo (24,4; 122 y 242 g peso seco) equivalentes a 5, 25, y 50 Mg/ha. El lodo se aplico directamente sobre el suelo, removiendo y homogenizando a continuación la mezcla suelo-lodo. El contenido de humedad fue mantenido en toda la experiencia a capacidad de campo para favorecer, junto a la temperatura de 25°, unas condiciones óptimas para la actividad microbiana. La incubación se llevó a cabo durante 90 días, durante este periodo se tomaron muestras inmediatamente después del aporte de las diferentes dosis de lodos (tiempo 0), y al cabo de 15, 45 y 90 días. El muestreo se llevo a cabo de forma aleatoria desde la superficie del suelo hasta el fondo (tres replicas por tiempo y dosis).

**Metodología analítica**

Se determino el carbono total según Walkey y Black (1934), el nitrógeno total según el método Kjeldahl modificado por Guitian y Carballas (1976), las bases de cambio y la capacidad de intercambio catión-

LODO					
pH	7,9	Cu total gkg <sup>-1</sup>	0,46	Cu asim. mgkg <sup>-1</sup>	0,66
M.O gkg <sup>-1</sup>	366,60	Fe total gkg <sup>-1</sup>	28,05	Fe asim. mgkg <sup>-1</sup>	50,50
N t gkg <sup>-1</sup>	23,80	Mn total gkg <sup>-1</sup>	0,28	Mn asim. mgkg <sup>-1</sup>	3,20
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> gkg <sup>-1</sup>	2,78	Ni total gkg <sup>-1</sup>	0,06	Ni asim. mgkg <sup>-1</sup>	4,10
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mgkg <sup>-1</sup>	1,20	Pb total gkg <sup>-1</sup>	0,28	Pb asim. mgkg <sup>-1</sup>	1,70
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mgkg <sup>-1</sup>	1,50	Zn total gkg <sup>-1</sup>	1,28	Zn asim. mgkg <sup>-1</sup>	6,70
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> mgkg <sup>-1</sup>	169	Cr total gkg <sup>-1</sup>	0,07	Cr asim. mgkg <sup>-1</sup>	n.d.
C/N	7,7	Cd total gkg <sup>-1</sup>	n.d.	Cd asim. mgkg <sup>-1</sup>	n.d.

TABLA 2: Características generales de los lodos residuales utilizados en la experiencia procedentes de la estación depuradora de aguas residuales de la ciudad de Vigo.

nico según el método descrito por Hendershot y Duquette (1986). El contenido de amonio, nitritos, nitratos, fosfatos y metales pesados bioasimilables según Houba *et al.* (2000).

La estimación de las tasas de mineralización neta de nitrógeno se calcularon según Beloso *et al.* (1993).

$$Mn = Ni_t - Ni_{t=0}$$

Donde:  
 $Ni_t$ : nitrógeno inorgánico en un determinado tiempo;  
 calculado:

$$Ni_t = N-NH_4^+_t + N-NO_2^-_t + N-NO_3^-_t$$

$Ni_{t=0}$ : nitrógeno inorgánico inicial, calculado:

$$Ni_{t=0} = N-NH_4^+_{t=0} + N-NO_2^-_{t=0} + N-NO_3^-_{t=0}$$

Los datos obtenidos fueron tratados estadísticamente mediante el programa SPSS.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los dos suelos estudiados el aporte de lodo provoca un aumento inicial del valor de

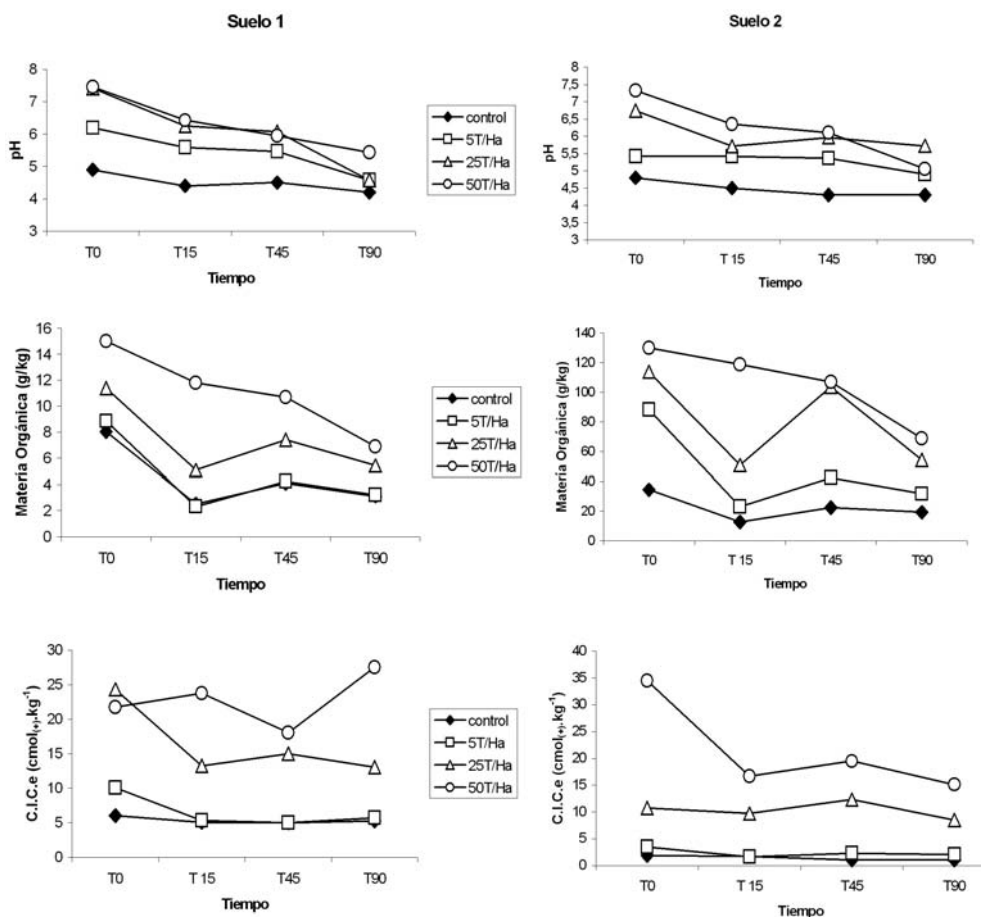


FIGURA 1: Variación del pH, contenido de materia orgánica y C.I.C.e con el tiempo de incubación y con las diferentes dosis de lodo.

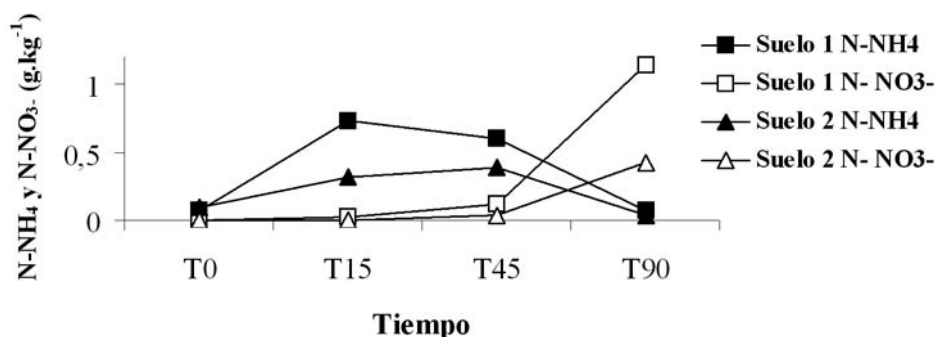


FIGURA 2: Tasa de mineralización neta.

pH, con todos los tratamientos, excepto con la aplicación de 5Mg/ha donde este incremento es mínimo. A lo largo del tiempo de incubación estos valores descienden, con ligeras fluctuaciones, y al final de la experiencia se obtiene un descenso en más de una unidad de pH con respecto al valor inicial en los dos suelos y para las distintas dosis de lodo añadidas (Figura 1). Esto coincide con los resultados de Wong *et al.* (1998) en suelos con la misma textura, esta disminución del pH a lo largo del tiempo de incubación, entre otras razones responde a la oxidación del nitrógeno amoniacal a nitratos, con la consecuente liberación de  $H_3O^+$ .

La adición de las tres dosis de lodo provoca un aumento inicial en el contenido de materia orgánica en los dos suelos estudiados, proporcional a la cantidad de lodo añadida. A lo largo de la experiencia las condiciones de incubación favorecen los procesos de mineralización, esto se traduce en un descenso del contenido de materia orgánica con el tiempo. Al final de la experiencia el suelo con menor contenido inicial de materia orgánica (suelo 1) presenta un contenido mayor que el control, con todas las dosis añadidas de lodo (Figura 1).

La evolución de la capacidad de intercambio catiónico efectiva, coincide con la de la materia orgánica, tiene lugar un aumento inicial importante, seguido de un

descenso a lo largo de la experiencia con ligeras fluctuación, obteniendo al final de la incubación valores superiores al control en todos los casos. Destaca el suelo 1 cuando se aplica 50 Mg/ha, en este caso la CICE sufre incremento importante al final de la incubación (Figura 1).

El contenido de fósforo asimilable ( $PO_4^{3-}$ ) sufre un incremento muy importante después de la aplicación de las tres dosis de lodo, a partir de aquí desciende drásticamente a lo largo de toda la experiencia. Destacando su ausencia en los dos suelos cuando se le aplica la dosis mas baja de lodo (5Mg/ha) a partir de los 15 días de incubación. En ambos suelos a los 90 días con la dosis mas elevada el contenido de  $PO_4^{3-}$  es ligeramente superior que el del suelo control.

La relación C/N en los dos suelos tratados con las distintas dosis de lodo disminuye a lo largo del tiempo de incubación, y es inferior a 10, ello indica una muy rápida mineralización ya que ambos parámetros son inversamente dependientes (Serna y Pomares 1992).

El contenido en elementos metálicos en forma asimilable es muy inferior a aquellos valores que puedan causar algún tipo de toxicidades, con todas las dosis añadidas.

El contenido de nitrógeno inorgánico después de los 90 días de incubación fue

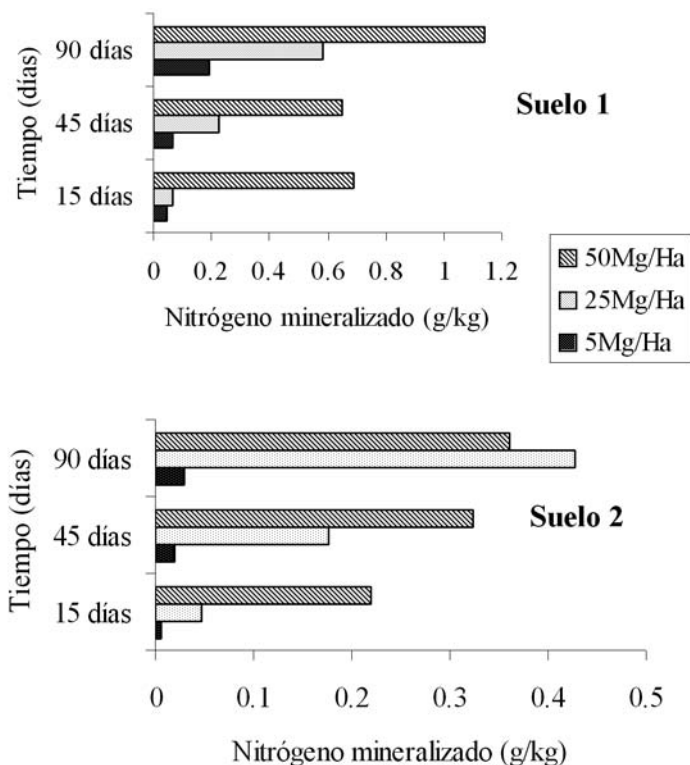


FIGURA 3: Variación del contenido de  $\text{N-NH}_4^+$  y  $\text{N-NO}_3^-$  con el tiempo de incubación (dosis de lodo aplicada 50 Mg/ha).

significativamente más elevado que el valor inicial. El  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  es la forma dominante de nitrógeno en los dos suelos con las distintas dosis de lodo, destaca en el suelo 1 sobre todo en los estados iniciales de la incubación, a continuación sufre un ligero decrecimiento a lo largo de la experiencia acompañado por su correspondiente incremento en  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ . En el suelo 2 la dominancia del  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  es más evidente en toda la experiencia, este comportamiento puede ser debido al importante incremento sufrido en las primeras semanas de incubación (Figura 2). El contenido de  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  sufre un gran aumento a partir de los 45 días de incubación salvo en el suelo 2 cuando se aplica la menor dosis de lodo (Figura 2).

La tasa de mineralización neta fue posi-

tiva en todos los casos, esto coincide con los bajos valores de la relación C/N que sugieren una mineralización muy rápida y ausencia de inmovilización (Figura 3). La cantidad de nitrógeno mineralizado en los dos suelos aumenta con el incremento de la dosis de lodo añadida y a medida que transcurre la incubación. Los valores máximos se alcanzan a los 90 días de incubación cuando se aplica 50 Mg/ha al suelo 1 (1,14 g/kg) y cuando se aplican 25 Mg/ha al suelo 2 (0,45 g/kg) (Figura 3).

## CONCLUSIONES

La aplicación de lodos residuales de la estación depuradora de Vigo en los suelos objeto de estudio provocan al término de la

incubación un ligero ascenso del pH, y un aumento en el contenido de materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico efectiva. Los niveles de metales en forma bioasimilable son inferiores a los que pudieran causar problemas de toxicidad.

La tasa de mineralización neta es positiva en todos los casos y aumenta con el tiempo de incubación y con el incremento de dosis añadida. El contenido de  $\text{NO}_3\text{-N}$  sufre un fuerte incremento a partir de los 45 días de incubación, con todas las dosis aplicadas, alcanzando su nivel máximo cuando se aplican 50Mg/ha en los dos suelos. Estos resultados sugieren que la aplicación de estos lodos residuales en suelos forestales degradados es una medida viable para su recuperación.

## REFERENCIAS

- Beloso, M., Villar, M., Cabaneiro, A., Carballas, M., Gonzalez -Prieto, S.;Carballas, M. (1993): Carbon and nitrogen mineralization in an acid soil fertilized with composted urban refused. *Bioresources Technology* 45, 123-129.
- Bergkvist, P. (2003): Long-term fate of sewage-sludge derived cadmium in arable soils : laboratory and field experiments, and modelling with SLAM and WHAM. Doctoral diss. Dept. of Soil Sciences, SLU. Acta Universitatis agriculturae Sueciae. Agraria vol. 410.
- Hendershot y Duquette (1986): Soil Sampling and Methods of Analysis. Canadian Society of Soil Science.
- Houba, V., Temminghoff, E., Gaikhorst, G., Van Vark, W. (2000): Soil analysis procedures using 0,01M calcium chlorhíde as extraction reagent. *Soil Sci. Anal.* 31, 1299-1396.
- Serna,M. y Pomares, F. (1992): Nitrogen mineralization of sludge-amended soil. *Bioresource Technology* 39, 285-290.
- Siddique, M, Robinson S. (2003): Phosphorus Sorption and Availability in soils amended with animal manures and sewage. *J. Ennviron. Qual.* 32, 745-750.
- Sierra, J., Fontaine, S, Desfontaines L. (2001): Factors controlling N mineralization, nitrification, and nitrogen losses in an Oxisol amended with sewage sludge. *Aust. J. Soil Res.* 39, 519-534.
- Smith, S. (1996): Agricultural recycling of sewage sludge and the environment. CABI Publi., Wallingford UK.
- Wang, H., Kimberley, M., Schlegelmilch M. (2003): Biosolids-Derived nitrogen mineralization and transformation in Forest soils. *J. Environ. Qual.* 32, 1851-1856.
- Wong, J, Lai, K, Fang, M., Ma, K. (1998): Effect of sewage sludge amendment on soil microbial activity and nutrient mineralization. *Environment-International* 24, 935-943.
- Walkey, A., Black, I. A. (1934): An Examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the cromic titration method. *Soil Sci.* 34, 29-38.