

**Efecto de la aplicación de lodos papeleros sobre la dinámica del carbono en dos suelos de la Cuenca del Lago de Valencia (Venezuela)**

**Yadira Martínez\* Carmen Rivero\*\***

**ABSTRACT**

The increment of sludge production, by residual waters treatment, makes necessary to find an economic and no risk method for its disposition. The available options include the application to agricultural lands. An experiment was carried out at the Biology and Fertility greenhouse of Facultad de Agronomía of the Universidad Central de Venezuela, during 66 days. The evaluated factors were dose, culture presence and time. The first centimeters of the profile of two representative agriculture soils from the Valencia lake basin were used. The organic carbon was determined by humid oxidation and the soil respiration by capture of the CO<sub>2</sub> produced with NaOH trap. The content of organic carbon did not show significant differences in the treatments with and without cultivation, neither any tendency with the time. The quantity of produced C-CO<sub>2</sub> in both soils was dependent of the treatment, the biggest production in C-CO<sub>2</sub>, in the first stages, took place in the Guacara soil, synonymous of and speedy bigger mineralization.

**Key words:** residual water, organic carbon, sludge, soil respiration soil.

**COMPENDIO**

El incremento en la cantidad de lodos producidos por los procesos de tratamiento de aguas residuales hace necesario encontrar un método económico y seguro para su eliminación. Las opciones disponibles incluyen su aplicación a suelos agrícolas.

Se realizó un ensayo, durante 66 días, en el invernadero de Biología y Fertilidad de Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, para evaluar el efecto de la aplicación de un lodo paplero sobre el carbono orgánico y la evolución de CO<sub>2</sub> en dos suelos de la cuenca del Lago de Valencia (Guacara y Mariara). Los factores evaluados fueron dosis de lodo, presencia de cultivo y tiempo. Se utilizaron los

primeros 20 centímetros del perfil de dos suelos agrícolas representativos de la cuenca del Lago de Valencia. Se midió el carbono orgánico oxidable y la respiración edáfica por medición del CO<sub>2</sub> desprendido. El contenido de carbono orgánico oxidable (CO<sub>ox</sub>) no mostró diferencias significativas en los tratamientos con cultivo y sin el, ni alguna tendencia con el tiempo. La cantidad de C-CO<sub>2</sub> producida, en ambos suelos, resultó dependiente del tratamiento. La mayor producción de C-CO<sub>2</sub>, en las primeras etapas del estudio se produjo en el suelo Guacara, indicativo de una mayor velocidad de mineralización.

**Palabras clave:** aguas residuales, carbono orgánico, lodos, respiración edáfica, suelo.

## INTRODUCCION

El incremento en la cantidad de lodos producidos en los últimos años a través de los procesos de tratamiento de aguas residuales hace necesario encontrar un método económico y seguro para su eliminación. Las opciones disponibles incluyen el uso de estos materiales en suelos agrícolas. Los aspectos más relevantes que hacen de la aplicación de lodos residuales a suelos agrícolas una alternativa atractiva incluyen: altos costos de eliminación por otros procedimientos, conservación de la energía, reciclaje de materia orgánica y nutrientes para las plantas, tales como N, P y Ca e incremento de los costos de los fertilizantes químicos (Hue *et al.*, 1988, Pietrantonio *et al.*, 2001, Boni *et al.*, 2004).

Por otra parte, ante el bajo contenido en materia orgánica (MO) de muchos suelos del mundo y la necesidad de su incremento como factor clave para la sostenibilidad (Swift, 1994), los lodos residuales representan una vía alterna para mitigar dichos problemas gracias a su efecto sobre el nivel de carbono de los mismos (Phillips *et al.*, 1997; Simard *et al.*, 1998; Aitken *et al.*, 1998; Foley y Cooperband, 2002; Meyer *et al.*, 2004). Este incremento en la MO implica necesariamente una modificación de la dinámica del carbono. Esto tendrá efectos globales, especialmente sobre la secuestación de carbono y el efecto invernadero, deben ser estudiados para cada condición de suelo y clima particular. La respiración del suelo es un parámetro muy usado para evaluar dicha dinámica ya que la actividad biológica en el suelo está influenciada por el clima, propiedades físicas y químicas del suelo, o prácticas de manejo agrícola (Campbell *et al.*, 1992). El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de un lodo papelerero sobre el carbono orgánico y la evolución de CO<sub>2</sub> (Respiración edáfica) en dos suelos agrícolas de diferente pH en presencia y ausencia de cultivo. El uso de estos dos factores se fundamentó en su marcado efecto sobre la actividad biológica del suelo.

## MATERIALES Y METODOS

Se realizó un ensayo en el invernadero de Biología y Fertilidad de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela, durante 66 días. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial. Los factores considerados fueron dosis de lodo, presencia de cultivo y tiempo de cultivo. Se utilizaron los primeros 20 cm del perfil de dos suelos agrícolas representativos de la cuenca del Lago de Valencia, cercanos al sitio de generación de los lodos y donde es factible la aplicación de dichos residuos. Estos suelos se seleccionaron con el uso del Sistema de Información de Suelos del Lago de Valencia (SISDELAV). Ambos suelos están localizados en el estado Carabobo y se denominarán en adelante Mariara (Hacienda Santa Clara, población de Mariara) y Guacara (sector Las Palmeras, población de Guacara).

Se utilizó un lodo primario de papelería, producido en el área de la cuenca del Lago de Valencia, y dadas las normativas de la empresa generadora la muestra de lodo utilizada es puntual, es decir que se requiere una caracterización cada vez que se colecte este tipo de material. El Cuadro 1 muestra las principales características de los suelos y el lodo utilizados en este estudio. Los tratamientos para cada suelo fueron los siguientes: Suelo control sin cultivo (SC); Suelo control cultivado (SCC); Suelo + lodo equivalente a 15 Mg.ha<sup>-1</sup> (SD1); Suelo + lodo equivalente a 15 Mg.ha<sup>-1</sup> y cultivado (SCD1); Suelo + lodo equivalente a 75 Mg.ha<sup>-1</sup> (SD2); Suelo + lodo equivalente a 75 Mg.ha<sup>-1</sup> y cultivado (SCD2); Suelo + lodo equivalente a 105 Mg.ha<sup>-1</sup> (SD3) y Suelo + lodo equivalente a 105 Mg.ha<sup>-1</sup> y cultivado (SCD3).

Las unidades experimentales consistieron en macetas plásticas de 35 cm de diámetro y 17 cm de profundidad, lo que permitió el muestreo no destructivo con minibarreno sobre cada una. Las macetas se colocaron, de acuerdo al diseño, en el invernadero. Se humedecieron con agua desionizada hasta alcanzar una humedad correspondiente a un 70% de la capacidad de campo; el cultivo utilizado fue maíz. La extracción del carbono orgánico oxidable se realizó mediante el método de oxidación húmeda de Wakley-Black modificado (Gilabert *et al.*, 1990), la cuantificación del carbono se realizó mediante el Spectronic 20.

**Cuadro 1.** Caracterización de los suelos y lodo

Características	Suelo Mariara	Suelo Guacara	Lodo
pH 1:2,5 en H <sub>2</sub> O	5.17	8.31	8.47*
CO (g.kg <sup>-1</sup> )	8.64	15.42	250.23
P <sub>BRAV</sub> (mg.kg <sup>-1</sup> )	33	22 M	3400
N (g.kg <sup>-1</sup> )	0.30	0.80	5.1
Relación C:N	28.8	19.3	49.06
CE(dS.m <sup>-1</sup> )1:2,5 en H <sub>2</sub> O	0.070	2.380	0.860*
CIC (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )	1.6	13.5	
Da (g.cm <sup>-3</sup> )	1.44	0.88	
Clasificación textural	aF	Fa	
Taxonomía	Inceptisol	Mollisol	

CO= Carbono orgánico, CE= Conductividad eléctrica, CIC= capacidad de intercambio catiónico, Da= densidad aparente

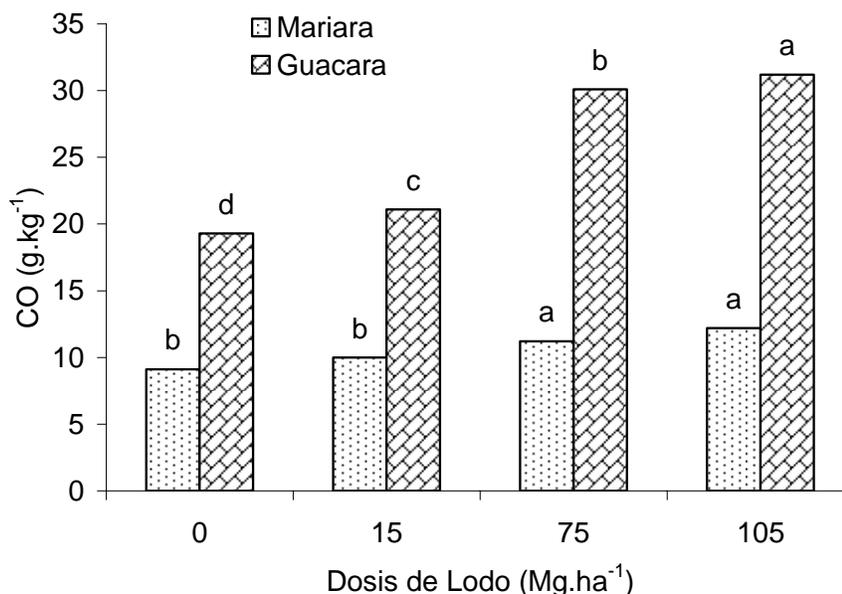
\* 1:10 en agua

La respiración edáfica se determinó según el método descrito por Rivero y Paolini (1995); medición del CO<sub>2</sub> desprendido mediante una trampa con NaOH, colocada en cada maceta dentro de una campana de plástico. El NaOH 0.5M remanente se tituló con HCl 0,2M, en presencia de fenolftaleína, previa precipitación de los carbonatos mediante adición de BaCl<sub>2</sub>. Paralelamente se llevaron 3 blancos para chequeo y corrección de fondo. Para el análisis de los datos se utilizó el programa estadístico SPSS (2001).

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Carbono orgánico oxidable

El contenido de carbono orgánico oxidable (CO<sub>ox</sub>) no mostró diferencias significativas entre tratamientos con cultivo y sin el. En esta variable la dosis de lodo fue el único factor que tuvo un efecto estadísticamente significativo (Figura 1).



En cada suelo, medias con igual letra no son estadísticamente diferentes en el tiempo

**Figura 1.** Niveles de carbono oxidable en los tratamientos.

En el suelo Mariara, el tratamiento con la dosis de lodo equivalente a 105 Mg.ha<sup>-1</sup> presentó el mayor contenido de CO<sub>ox</sub>. No obstante, no existen diferencias significativas con respecto al que se le incorporó dosis de 75 Mg.ha<sup>-1</sup>. El CO<sub>ox</sub> en estos tratamientos presenta diferencias significativas con respecto al control (C) y con dosis de lodo equivalente a 15 Mg.ha<sup>-1</sup>. El suelo tratado con 15 Mg.ha<sup>-1</sup> de lodo y el control, no presentaron diferencias estadísticamente significativas. En este suelo el incremento de CO<sub>ox</sub> sobre el suelo control para la incorporación de dosis de lodo equivalente a 15, 75 y 105 Mg.ha<sup>-1</sup> fue de 0.6; 4.52 y 4.93 g.kg<sup>-1</sup> respectivamente.

En el suelo Guacara, al igual que el suelo Mariara, el mayor contenido de CO<sub>ox</sub> lo presentó el suelo con dosis de lodo equivalente a 105 Mg.ha<sup>-1</sup>. El efecto de las distintas dosis de lodo resultó significativamente diferente con relación al control. Con respecto al control el incremento de carbono orgánico oxidable para este suelo con la incorporación de dosis de lodo de 15, 75 y 105 Mg.ha<sup>-1</sup> fue, respectivamente, 1.28; 10.31 y 15.34 g.kg<sup>-1</sup>.

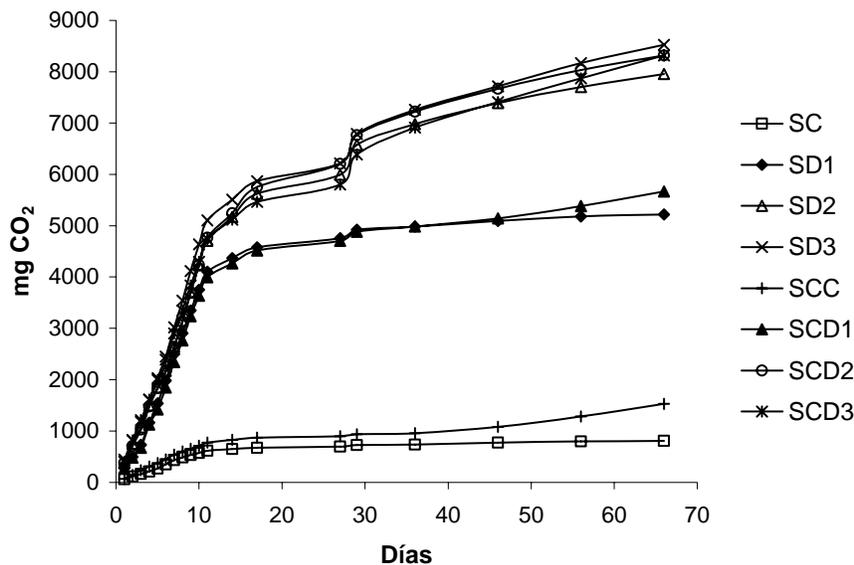
El suelo Guacara en comparación con el suelo Mariara, experimentó un mayor incremento de CO<sub>ox</sub> con la incorporación de las distintas dosis de lodo, es decir que

incorpora el CO añadido a su propia materia orgánica. Esto significaría una mayor posibilidad de secuestrar el carbono añadido lo cual puede atribuirse a las características particulares de este suelo (Smith, 2004; Rees *et al.*, 2005). La independencia del  $\text{CO}_{\text{ox}}$ , del tiempo de muestreo y del uso del suelo (con cultivo y sin cultivo), se vincularía a la presencia de compuestos orgánicos estables resistentes a la degradación microbiana y/o a compuestos estables que requieren de mayor tiempo para su solubilización.

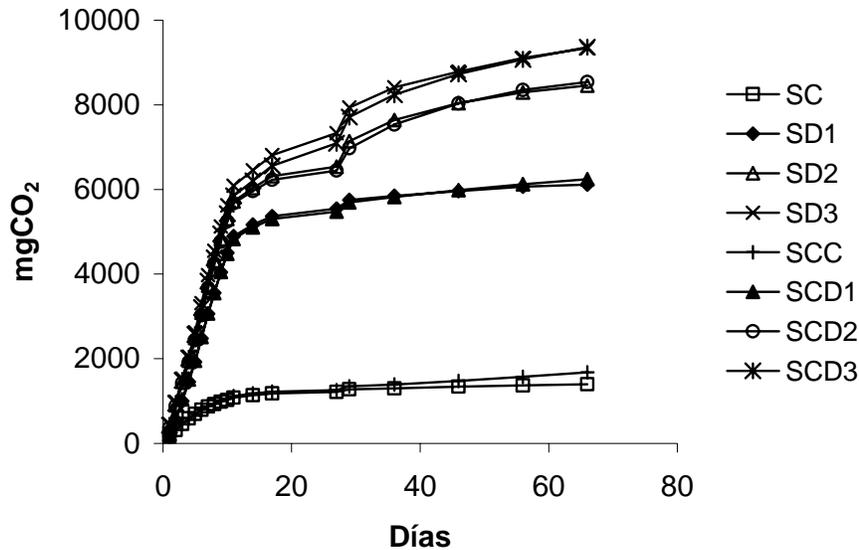
### Respiración edáfica

La respiración edáfica medida como la producción de  $\text{C-CO}_2\cdot\text{m}^{-2}$  acumulada, medida durante 66 días, se utilizó como índice de la mineralización de la materia orgánica. Esta variable se considera precisa bajo condiciones controladas de humedad, temperatura y granulometría (Brookes, 1995). La cantidad de  $\text{C-CO}_2\cdot\text{m}^{-2}$  producida, en ambos suelos, resultó dependiente del tratamiento aplicado (Figuras 2 y 3).

De acuerdo a lo esperado, en todos los casos las curvas de respiración presentaron una primera porción caracterizada por una elevada pendiente (Figuras 2 y 3).



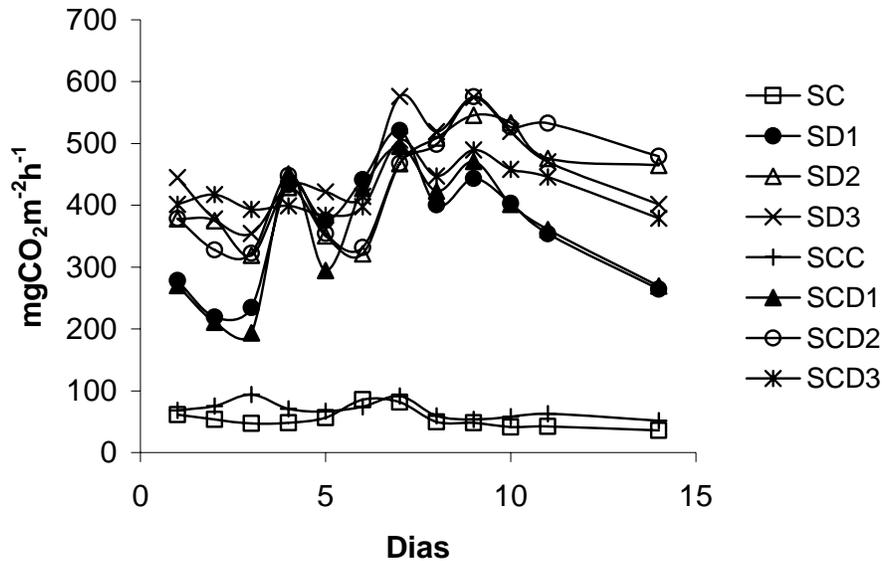
**Figura 2.** Efecto de la incorporación de distintas dosis de un lodo residual en la respiración edáfica, suelo Mariara.



**Figura 3.** Efecto de la incorporación de distintas dosis de un lodo residual en la respiración edáfica, suelo Guacara.

Esto corresponde a la mineralización de los compuestos carbonados más lábiles o carbono soluble en agua presentes en el material (Pascual *et al.*, 1999), seguida de una menor velocidad diaria de producción de  $\text{CO}_2$  correspondiente a los compuestos de mayor recalcitrancia. Para todos los tratamientos la cantidad de  $\text{CO}_2$  producida resultó mayor que para el suelo control, producto de la activación de los microorganismos para degradar el lodo en un evidente aprovechamiento del sustrato carbonado y los nutrimentos.

Dada la dinámica inicial de la respiración se incluyen las curvas de respuesta para los primeros 15 días. En tal sentido, en el suelo Guacara (Figura 5) sin lodo, durante los primeros nueve días, presentó una mayor producción de  $\text{C-CO}_2 \cdot \text{m}^{-2}$ , que el suelo Mariara (Figura 4) sin lodo, debido a las características de este suelo (pH,  $\text{CO}_{\text{ox}}$  y nutrimentos) las cuales permiten un mayor desarrollo de microorganismos que mineralizarían mayor cantidad de la materia orgánica nativa del suelo.

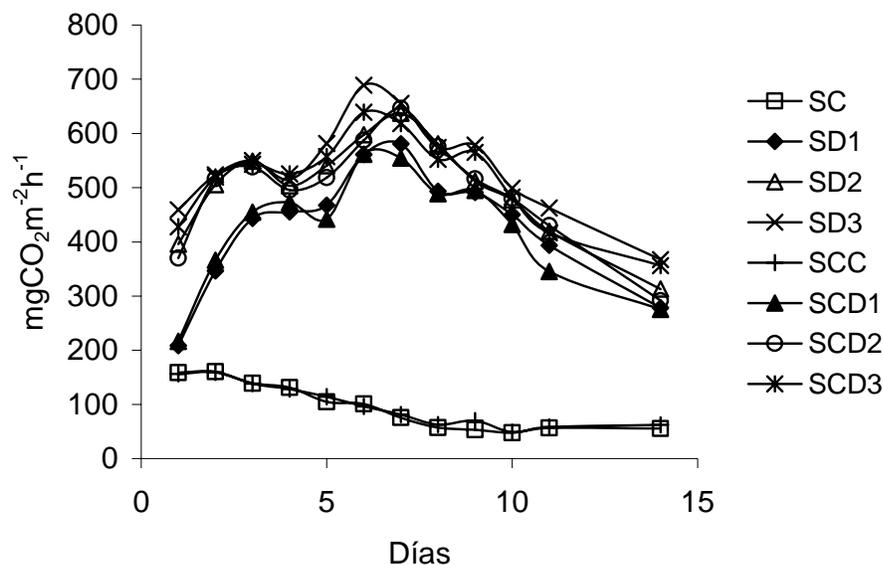


**Figura 4.** Respiración diaria (0 a 15 días) en el suelo Mariara

En este caso, suelo Mariara, la producción de  $\text{C-CO}_2$  (Figura 4) en los primeros nueve días experimentó un incremento generalizado, tanto para el control como para los tratamientos con lodos. No existieron diferencias significativas entre los tratamientos con las diversas dosis de lodo; mientras que si existieron entre estos y el suelo control. La gráfica muestra la conformación de grupos de respuesta que dependen de la cantidad de lodo añadida al suelo. A partir del día nueve, el incremento diario obtenido en el suelo con la menor dosis de lodo,  $15 \text{ Mg.ha}^{-1}$ , comienza a disminuir al punto de no presentar diferencias estadísticamente significativas en el tiempo. No obstante los tratamientos con dosis de lodo de  $75$  y  $105 \text{ Mg.ha}^{-1}$  presentan una mayor producción de  $\text{CO}_2$  en relación al suelo control, con diferencias estadísticamente no significativas entre ellos. En esta fecha (día nueve) estos tratamientos, presentan un incremento estadísticamente significativo en relación al suelo no cultivado. Este cambio puede estar relacionado con efecto de las raíces del cultivo (Figura 4).

El comportamiento general para el suelo Guacara (Figura 5) muestra una dinámica de la producción de  $\text{C-CO}_2$  similar a la reseñada para el suelo Mariara. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas al final de la experiencia en la producción de  $\text{C-CO}_2$  de los tratamientos con cultivo y sin el tanto para el suelo control como para el suelo con dosis equivalente a  $15 \text{ Mg.ha}^{-1}$ . Para este suelo estas diferencias fueron menores, debido al menor desarrollo del cultivo en este caso.

En ambos suelos y para todos los tratamientos, en el día 29 se produjo un incremento en la producción diaria de C-CO<sub>2</sub>, observado en las curvas de respiración mostradas (Figuras 2 y 3), el cual podría ser una consecuencia de la adición de fertilizantes a los suelos. La producción de C-CO<sub>2</sub>, tal como se indicó varió en forma directa a la incorporación de las dosis de lodos en ambos suelos, efecto que ha sido señalado en otras investigaciones (Pavan *et al.*, 2005). En los tratamientos con cultivo después del día 36 la producción de CO<sub>2</sub> siempre fue significativamente mayor con respecto al tratamiento sin cultivo debido lógicamente a la respiración de las raíces de las plantas.



**Figura 5.** Respiración diaria (0 a 15 días) en el suelo Guacara.

La dinámica observada para la producción de C-CO<sub>2</sub> en los suelos, el incremento inicial y posterior descenso a partir de los diez días para todos los tratamientos, es un reflejo de la mineralización de la materia orgánica incorporada con el lodo. Esta respuesta a la incorporación de las distintas dosis de lodo parece indicar que no existe un efecto limitante del lodo en el desarrollo de los microorganismos.

Al final de la experiencia (66 días), en el suelo Mariara la aplicación de las mayores dosis, 75 y 105 Mg.ha<sup>-1</sup>, produjeron una respuesta similar (Figura 2) independiente de la presencia del cultivo. En el caso del suelo Guacara la producción de

CO<sub>2</sub>, para el uso de estas dosis, fue igualmente independiente de la presencia del cultivo, mas no de la dosis aplicada y se observó que la mayor dosis produjo los mayores niveles de respiración (Figura 3).

Se indica que la disminución significativa de los incrementos diarios, evidenciada por el cambio de pendiente en las curvas de evolución de CO<sub>2</sub>, en los suelos con los distintos tratamientos, a lo largo del tiempo, se debe principalmente al agotamiento, por la mineralización, de los compuestos de fácil degradación (Rivero y Paolini, 1995; Kirchmann y Bernal, 1997; Thuriès *et al.*, 2001). Al final del período de experimentación, la baja pendiente de las curvas indica que persisten los compuestos más resistentes a la degradación. En todo caso, en ambos suelos, la incorporación de lodo activa de tal manera el proceso de mineralización del material orgánico añadido que se espera se afecten aquellas variables que dependen directa o indirectamente de la ocurrencia de este proceso en el suelo, como es la concentración de los distintos elementos químicos por ejemplo nitrógeno y fósforo.

## CONCLUSIONES

El contenido de carbono orgánico oxidable (CO<sub>ox</sub>) no mostró diferencias significativas en los tratamientos con cultivo y sin el, ni ninguna tendencia con el tiempo. Para todos los tratamientos la cantidad de CO<sub>2</sub> producida resultó mayor que para el suelo control y varió en forma directa a la incorporación de las dosis de lodos en ambos suelos. Esto es consecuencia directa de la activación de los microorganismos que degradan el lodo para aprovechamiento, a diferentes velocidades, del sustrato carbonado y los nutrientes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aitken, M.N.; B. Evans; J.G. Lewis. 1998. Effect of applying paper mill sludge to arable land on soil fertility and crop yields. *Soil Use Manage.* 14:215-222 and container nursery culture. *J. Environ. Qual.* 24:1074-1082.
- Boni, M. R.; L. D'Aprile; G. De Casa. 2004. Environmental quality of primary paper sludge. *Journal of Hazardous Materials* 108(1-2):125-128.
- Brookes, P. 1995. The use of Microbial Parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. *Biol. Fertil. Soils* 19:269-279.

- Campbell, C.A.; S.A. Brandt; V.O. Biederbeck; R.P. Zentner; M. Schnitzer. 1992. Effect of crop rotations and rotation phase on characteristics of soil organic matter in a Dark Brown Chernozemic soil. *Can. J. Soil Sci.* 72:403-416.
- Foley, B. J.; L. R. Cooperband. 2002. Paper mill residuals and compost effects on soil carbon and physical properties. *J. Environ. Qual.* 31:2086-2095.
- Gilbert, J.; I. López; R. Pérez. 1990. Manual de métodos y procedimientos de referencia. FONAIAP, Maracay. Serie D No 26. 180 p.
- Hue, N. V.; J. A. Silva; R. Arifin. 1988. Sewage sludge-soil interactions as measured by plant and soil chemical composition. *J. Environ. Qual.* 17(3):384-390.
- Kirchmann, H.; M. P. Bernal. 1997. Organic waste treatment and C stabilization efficiency. *Soil Biol. Biochem.* 29(11-12): 1747-1753.
- Meyer, V. F.; E. F. Redente; K. A. Barbarick; R. B. Brobst; M. W. Paschke; A. L. Millar. 2004. Plant and soil responses to biosolids application following forest fire. *J. Environ. Qual.* 33:873-881.
- Pascual, J.A.; C. García; T. Hernández. 1999. Lasting microbiological and biochemical effects of the addition of municipal solid waste to an arid soil. *Biol. Fertil. Soils* 30: 1-6.
- Pavan, F.; S. A. W. Bettiol; C. C. Cerri. 2005. Effect of sewage sludge on microbial biomass, basal respiration, metabolic quotient and soil enzymatic activity. *Applied Soil Ecology* 30(1):65-77.
- Phillips, V. R.; N. Kirkpatrick; I. M. Scotford; R. P. White; R. G. O. Burton. 1997. The use of paper-mill sludges on agricultural land. *Bioresource Technology* 60(1): 73-80.
- Pietrantonio, M.; A. Liberatori; M. Petronio; M. Pietroletti. 2001. Change in soils metal carrying capacity as result of urban sludge addition. *Water, Air and Soil Pollution* 132:141-151.
- Rees, R.M.; I. J. Bingham; J. A. Baddeley; C. A. Watson. 2005. The role of plants and land management in sequestering soil carbon in temperate arable and grassland ecosystems. *Geoderma* 128(1-2):130-154.
- Rivero, T.; C.; J. Paolini. 1995. Efecto de la incorporación de residuos orgánicos sobre la evolución de CO<sub>2</sub> de dos suelos venezolanos. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* 21:37-49.

- Simard, R.R.; R. Baziramakenga; S. Yelle; J. Coulombe. 1998. Effects of de-inking paper sludges on soil properties and crop yields. *Can. J. Soil Sci.* 78:689–697.
- Smith, P. 2004. Carbon sequestration in croplands: the potential in Europe and the global context *European Journal of Agronomy* 20(3):229-236.
- SPSS. 2001. Manual versión 11 for Windows. 280 p.
- Swift, M. J. 1994. Maintaining the biological status of soil: a key to sustainable land management. *In: Greenland, D.J., Szabolcs. (Eds.), Soil resilience and sustainable land use. Wallingford, CAB International p. 235–247.*
- Thuriès, L.; M. Pansu; C. Feller; P. Herrmann; J. C. Rémy. 2001. Kinetics of added organic matter decomposition in a Mediterranean sandy soil. *Soil Biol. Biochem.* 33: 997-1010.