

Efecto de la aplicación de lodos papeleros sobre los contenidos de carbono microbiano y la actividad de deshidrogenasa en suelos agrícolas^a

Effect of paper sludge application on organic carbon content and dehydrogenase activity in agriculture soil

Audry García y Carmen Rivero

Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela.

E-mail: garciaaudry@gmail.com y crivert@gmail.com

RESUMEN

Se evaluaron las modificaciones del carbono microbiano y la actividad de deshidrogenasa en dos suelos venezolanos sometidos a diferentes dosis de lodo proveniente de la industria papelera. Se utilizaron dos suelos agrícolas provenientes de la Cuenca del Lago de Valencia, Santa Cruz de Aragua y Campo Experimental del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (GENIAP) Maracay, con características fisicoquímicas contrastantes, especialmente pH y textura.

^a Recibido: 17-05-10 ; Aceptado: 24-02-11

ABSTRACT

Changes in microbial carbon and dehydrogenase activity were evaluated in two Venezuelan soils subjected to different doses of sludge from the paper industry. Two agricultural soils of the Valencia lake basin were used, one from Santa Cruz de Aragua and the other from the Experimental National Center for Agricultural Research (CENIAP) Maracay, These soils have contrasting chemical and physical characteristics, especially pH and texture. The experiment consisted of 100-day

El experimento consistió en una incubación de 100 días en condiciones de laboratorio, utilizando dosis de 10 y 15 Mg ha⁻¹ de lodo papelerero primario. Los resultados parecen indicar que durante los primeros 20 días de evaluación, para ambos parámetros, existe un efecto significativo de la fuente de carbono disponible al suelo, derivado de la incorporación del lodo. Es decir que ambas variables pueden ser usadas para evaluar la respuesta inmediata en los suelos bajo estudio a la aplicación de materiales orgánicos.

Palabras clave: lodos papeleros, carbono microbiano, deshidrogenasa

incubation under laboratory conditions, using doses of 10 and 15 Mg ha⁻¹ of primary paper sludge. The results show a significant effect of the incorporation of sludge on the microbial carbon and the dehydrogenase activity, in both soils, during the first 20 days of evaluation. This suggests that, the microbial carbon and the dehydrogenase activity can be used to assess the immediate response of these soils to the application of organic materials.

Key words: paper mills sludge, carbon microbial dehydrogenase

INTRODUCCIÓN

La práctica de emplear adecuadamente enmiendas orgánicas en el proceso agrícola permite el uso más eficiente de los recursos sobre el sistema de producción y ofrece una alternativa para reducir los costos de fertilización a través de los diversos productos tales como bioactivadores, bionutrientes, bioestimulantes, residuos urbanos e industriales etc., que en conjunto aportan sustancias nutritivas a los cultivos, aumentan los niveles de materia orgánica y disminuyen los problemas en la disposición de residuos de diversos orígenes, aún cuando esto ha sido fuente de múltiples controversias a nivel mundial (Bengtsson, y Tillman, 2004). Planteamientos similares han surgido en otros países, como Canadá, para el manejo de lodos provenientes de la industria del papel. No obstante, se hace hincapié en la evaluación de variables de riesgo ambiental como metales pesados, resinas, hidrocarburos aromáticos policíclicos, dioxinas, etc. (Beauchamp *et al.*, 2002). Al respecto, Trépanier *et al.* (1998) indicaron que un problema importante radica en el efecto que tiene la lixiviación de NO₃⁻, por cuanto ésta se incrementa en la medida en que aumenta el contenido de nitrógeno en el lodo.

En el caso de lodos provenientes de la industria de papel se ha planteado que su uso estaría orientado básicamente a fungir como enmienda dado su bajo contenido de nutrientes (Beauchamp *et al.*, 2002). Sin embargo ensayos en campo han mostrado incrementos en los rendimientos para algunos cultivos (Bellamy *et al.*, 1995).

La utilización de materiales residuales induce modificaciones importantes de los parámetros que afectan la funcionalidad del sistema suelo, que se evidencia a través de la modificación de variables como las poblaciones microbianas y la actividad de las enzimas. Al respecto Beyer *et al.* (1997) plantearon que el primer efecto directo es sobre el carbono orgánico total del suelo, el cual constituye el combustible para la vida en el sistema, pero acotan que esta práctica debe ser sistematizada en el tiempo porque se pierden los efectos en muy corto plazo. Estas modificaciones en la funcionalidad del suelo deben ser evaluadas a los fines de conocer la dirección y efecto de los procesos.

Se ha señalado que las variables vinculadas a la actividad de los microorganismos parecen ser las más apropiadas, especialmente el carbono unido a la biomasa microbiana (Cmic) y la actividad de algunas enzimas, la deshidrogenasa entre ellas (Ajwa *et al.*, 1999), que además son parámetros de fácil determinación y bajo costo (Kennedy y Schillinger, 2006). Sus bondades han sido puestas de manifiesto por muchos autores. García-Gil *et al.* (2000) plantearon que el Cmic permite diferenciar el efecto de la aplicación de distintas dosis de lodo, en términos de las diferencias entre los incrementos observados para dicha variable. Igualmente, los mismos autores señalan una elevada correlación con la actividad de algunas enzimas del suelo, negativa en el caso de ureasa y fosfatasa y positiva ($r=0,882$) en el caso de deshidrogenasa. En este sentido, el objetivo de este trabajo fue evaluar las modificaciones de algunos parámetros bioquímicos, específicamente el carbono de la biomasa microbiana (Cmic) y la actividad de deshidrogenasa, en dos suelos venezolanos sometidos a diferentes dosis de lodo proveniente de la industria papelería.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento consistió en una incubación en condiciones de laboratorio, empleando un diseño totalmente aleatorizado. Se utilizaron dos suelos agrícolas provenientes de la Cuenca del Lago de Valencia, Santa Cruz de Aragua y Campo Experimental del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP), Maracay con algunas características físicas y químicas contrastantes, especialmente pH y textura. El suelo Santa Cruz de Aragua es un suelo franco de pH ligeramente alcalino y el suelo CENIAP es franco arenoso y de pH ligeramente ácido. Ambos suelos han sido clasificados como Fluventic Haplustolls. El material residual empleado fue un lodo primario proveniente de la producción de papel que se desarrolla en la zona. Los tratamientos aplicados fueron: **T** = Testigo, **L10**= Suelo + 10 Mg.ha⁻¹ lodo y **L15** = Suelo + 15 Mg.ha⁻¹ lodo. Las principales características químicas y físicas de suelos y lodo se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Caracterización básica de los suelos estudiados y el lodo

Características	Suelo Santa Cruz	Suelo Ceniap	Lodo Papelero
pH	7,67 [*]	5,68 [*]	7,98 ^{**}
CE (dSm ⁻¹)	0,660	0,090	0,36
CIC (cmol _c .kg ⁻¹)	11,90	9,15	7,87
CO (g.kg ⁻¹)	14,80	15,60	45,70
N (g.kg ⁻¹)	1,10	1,05	1,50
P (mg.kg ⁻¹)	127	20	22
K (mg.kg ⁻¹)	22	22	0,0
Fe (mg.kg ⁻¹)	0,6	34	976
Mn (mg.kg ⁻¹)	12	24	18
Cu (mg.kg ⁻¹)	0,0	0,90	56
Zn (mg.kg ⁻¹)	0,4	2	150
Textura	F	Fa	

El período de incubación fue de 100 días y se realizaron muestreos con una frecuencia interdiaria los primeros 20 días y luego con una frecuencia de 10 días.

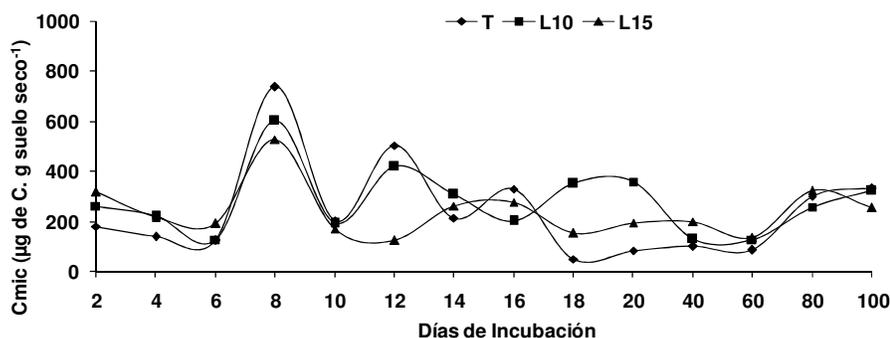
Para la liberación y extracción del Cmic se siguió el método de irradiación propuesto por Islam y Well, (1998), el cual consiste en irradiar las muestras con onda corta o microonda, extraer el carbono con una solución de K₂SO₄ y posterior cuantificación de éste en el extracto mediante la oxidación parcial del carbono según el método de Walkey y Black modificado (Anderson e Ingram, 1993). El Cmic fue obtenido por diferencia entre el contenido de carbono en muestras irradiadas y no irradiadas. Para determinar la actividad de la deshidrogenasa se siguió el método propuesto por Casida *et al.* (1964). Cuyo basamento es la incubación de la muestra con cloruro de 2,3,5-trifeniltetrazolio (TTC) y se mide el trifenilforazan producido durante la reacción. Los resultados fueron procesados estadísticamente con el programa Statistic para Windows (2010), la diferenciación de las medias se realizó a través de la mínima diferencia significativa (MDS).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Carbono unido a la biomasa microbiana (Cmic)

Al inicio del periodo de incubación se observaron en el suelo Santa Cruz (figura 1), diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$, $MDS = 27,09$) de los tratamientos L10 y L15 con respecto al tratamiento control (T), se infiere por tanto un incremento del Cmic como producto de la incorporación de lodo. A partir de allí los tratamientos con lodo no mostraron efecto significativo, respecto al testigo excepto una diferenciación visualizada alrededor de los 18 días.

La dosis de 15 Mgha^{-1} (L15) indujo un incremento de prácticamente el doble ($316,83 \mu\text{g C g suelo}^{-1}$) en comparación con el tratamiento control ($189,19 \mu\text{g C g suelo}^{-1}$), no obstante, no se diferenció significativamente de la menor dosis ($P < 0,05$), esto no es explicable en términos de la cantidad de sustrato carbonado que se puso a disponibilidad de los microorganismos en cada dosis, se presume la presencia de algún inhibidor, como por ejemplo los elevados contenidos de Zn, Fe y Cu detectados en el lodo (cuadro 1), los cuales pueden eventualmente deprimir el crecimiento de la población microbiana del suelo (Kandeler *et al.*, 1996). Otro factor a considerar es la posible deficiencia de otros nutrientes inducida por la demanda de los microorganismos ante el exceso de carbono añadido (Chantigny *et al.*, 2000).



Días	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	40	60	80	100
LDS	27,01	22,95	15,65	43,93	7,43	84,02	20,03	27,21	66,75	58,49	22,31	10,72	14,51	18,02

LDS: mínima diferencia significativa entre tratamiento por cada punto de muestreo $P < 0,05$

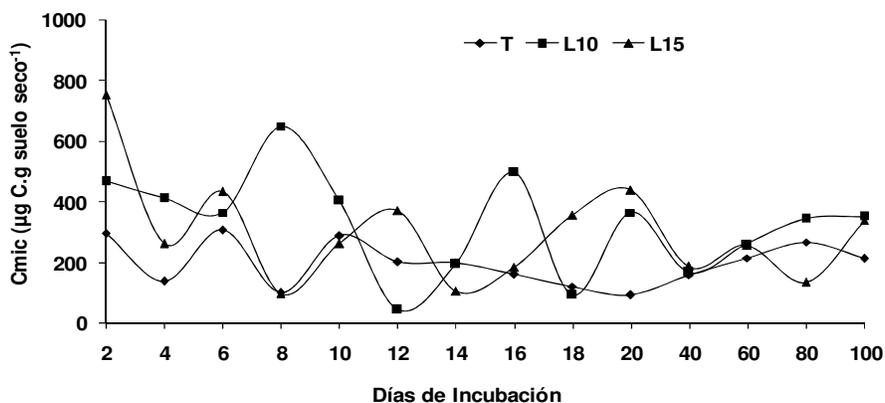
Figura 1. Dinámica del Cmic durante la incubación en el suelo Santa Cruz

Un comportamiento similar se observó en el suelo del CENIAP (figura 2) a los dos días de incubación, es decir un incremento en el Cmic, el cual se tradujo en diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$) entre el L15 y L10 con relación al tratamiento control (T). Se incluyen en las gráficas las mínimas diferencias significativas encontradas (LDS).

La figura 2 muestra que el mayor contenido de Cmic se obtiene en el L15 con un valor inicial alto ($752,99 \mu\text{g C g suelo}^{-1}$). Estos resultados coinciden con lo encontrado por Sakamoto y Oba (1991), quienes señalan que el lodo papelerero posee una cantidad de biomasa microbiana propia que causa esta diferenciación, además de la descomposición rápida de esta fracción orgánica aplicada, debido posiblemente a la interacción entre el tiempo de muestreo y el lodo. Un aspecto importante es que en el suelo CENIAP los incrementos absolutos del Cmic fueron mayores que en el suelo Santa Cruz, una posible explicación podría estar vinculada a un incremento del pH de este suelo, producto del pH del lodo, lo cual pudo resultar beneficioso para el crecimiento de las poblaciones de microorganismos.

Los resultados indicaron que, el efecto significativo de esta fuente de carbono disponible en el suelo sobre la dinámica del contenido del Cmic, se concentra en los primeros 20 días de evaluación. Apreciándose que a partir de ese momento no se detectaron incrementos significativos sostenidos como

respuesta a cada uno de los tratamientos, esto se ha vinculado a la presencia de moléculas orgánicas de mayor recalcitrancia.



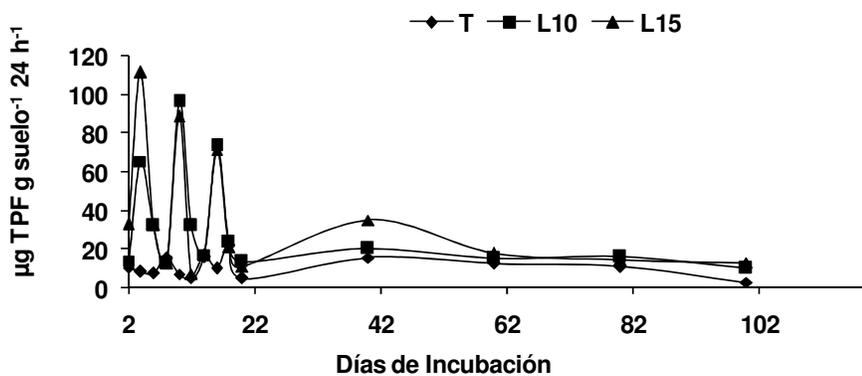
Días	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	40	60	80	100
LDS	97,28	57,72	26,64	72,26	6,09	68,45	22,11	79,25	60,29	78,44	5,78	11,0	44,55	32,41

LDS: mínima diferencia significativa entre tratamiento por cada punto de muestreo P(<0,05)

Figura 2. Dinámica del Cmic durante la incubación en el suelo CENIAP

Actividad de deshidrogenasa

La dinámica de la actividad de la deshidrogenasa por efecto de los tratamientos sobre los suelos estudiados se ilustra en las figuras 3 y 4 para los suelos Santa Cruz y CENIAP respectivamente.



Días	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	40	60	80	100
LDS	5,09	21,84	6,05	0,59	20,80	6,36	0,30	15,14	0,55	1,78	4,23	1,13	1,04	2,17

LDS: mínima diferencia significativa entre tratamiento por cada punto de muestreo P(<0,05)

Figura 3. Dinámica de la actividad de la deshidrogenasa durante la incubación en el suelo Santa Cruz

Los máximos valores registrados de la actividad de la deshidrogenasa durante este espacio de tiempo se alcanzaron al inicio del período de incubación para ambos suelos, es decir a los 4 días con el L15 ($111,69 \mu\text{g TPF g suelo}^{-1}24 \text{ h}^{-1}$), a los 10 y 16 días con el L10 ($96,14 \mu\text{g TPF g suelo}^{-1}\text{día}^{-1}$ y $73,35 \mu\text{g TPF.g suelo}^{-1}24 \text{ h}^{-1}$) para el suelo Santa Cruz.

Mientras que en el suelo CENIAP se encontró la mayor actividad de la enzima a los 4 y 10 días con el L15 ($56,81 \mu\text{g TPF g suelo}^{-1}24\text{h}^{-1}$ y $43,54 \mu\text{g TPF g suelo}^{-1}24\text{h}^{-1}$) y a los 16 días con el L10 ($69,26 \mu\text{g TPF g suelo}^{-1}24\text{h}^{-1}$).

En ambos casos se observó un incremento inicial de la actividad de la enzima que se mantuvo hasta los 16 días durante el período de incubación. Se detectaron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$) para los días 4, 10 y 16 para los tratamientos L10 y L15 con respecto al control (T), atribuidas a los sustratos fácilmente biodegradables aportados por el lodo papelerero, los cuales son consumidos por los microorganismos más rápidamente, lo cual se evidenció por el incremento del Cmic.

Aun cuando la actividad de la deshidrogenasa de los suelos enmendados decreció gradualmente después de los 20 días, al final del ensayo la actividad de los suelos con la mayor dosis fue mayor que en el tratamiento control, comportamiento similar alcanzado por Pascual *et al.* (1998) al trabajar con enmiendas orgánicas de residuos urbanos.

Sólo la concordancia entre la actividad de deshidrogenasa y el comportamiento del Cmic permiten concluir que la adición del lodo papelerero efectivamente afecta la actividad de esta enzima intracelular (Beyer *et al.*, 1993), la cual responde según las características del suelo y la dosis aplicada.

CONCLUSIONES

El residuo de lodo papelerero primario indujo a modificaciones significativamente positivas en las variables biológicas estudiadas, carbono de la biomasa microbiana y actividad de la enzima deshidrogenasa, como consecuencia de su incorporación y descomposición, concentrándose en los primeros 20 días del periodo de incubación de 100 días. La actividad de la deshidrogenasa demostró, una vez más, ser un buen indicador de la actividad microbiana, por presentar un comportamiento estrechamente relacionado a los resultados obtenidos para el Cmic.

Es decir, que ambas variables pueden ser usadas para evaluar la respuesta inmediata en los suelos bajo estudio a la aplicación de materiales orgánicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ajwa, H. A., C. D. Dell y C. W. Rice. 1999. Changes in enzyme activities and microbial biomass of tallgrass prairie soil as related to burning and nitrogen fertilization. *Soil Biol. Biochem.* 31:767-769.
- Anderson, J. M. y Ingram, J. S. I. 1993. *Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods.* 2nd Edition. CAB International. Wallingford, UK. 62 p.
- Beauchamp, C. J., M. H. Charest y A. Gosselin. 2002. Examination of environmental quality of raw and composting de-inking paper sludge. *Chemosphere.* 46(6):887-895.
- Bellamy, K. L., C. Chong y R. A. Cline. 1995. Paper Sludge Utilization in Agriculture and Container Nursery Culture. *J. Environ. Qual.* 24:1074-1082.
- Bengtsson, M. y A. M. Tillman. 2004. Actors and interpretations in an environmental controversy: the Swedish debate on sewage sludge use in agriculture. *Resources, Conservation and Recycling.* 42(1):65-82.
- Beyer, L., R. Fründ y K. Mueller. 1997. Short-term effects of a secondary paper mill sludge application on soil properties in a Psammentic Haplumbrept under cultivation. *Science of The Total Environment.* 197(1-3):127-137.
- Beyer, L., C. Wachendorf, D.C. Elsner y R. Knabe. 1993. Suitability of dehydrogenase activity assay as an index of soil biological activity. *Biol. Fertil. Soils.* 16(1): 52-56.
- Casida L. E. Jr., D. A. Klein y T. Santoro. 1964. Soil deshydrogenase activity. *Soil Sci.* 98:371-376.
- Chantigny, M. H., D. A. Angers y C. J. Beauchamp. 2000. Active carbon pools and enzyme activities in soils amended with de-inking paper sludge. *Can. J. Soil Sci.* 80(1):99-105.
- García-Gil, J. C., C. Plaza, P. Soler-Rovira y A. Polo. 2000. Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.* 32 (13):1907-1913.

- Islam K. R. y R.R. Weil.** 1998. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. *Biol. Fertil. Soils.* 27: 408-416.
- Kandeler, F., C. Kampichler y O. Horak.** 1996. Influence of heavy metals on the functional diversity of soil microbial communities. *Biol. Fertil. Soils.* 23(3): 299-306.
- Kennedy A. C. y W. F. Schillinger.** 2006. Soil Quality and Water Intake in Traditional-Till vs. No-Till Paired Farms in Washington's Palouse Region. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70:940-949.
- Pascual J. A, T. Hernández, C. García y M. Ayuso.** 1998. Enzymatic activities in an Arid soil amended with urban organic waste: Laboratory Experiment. *Bioresour. Technol.* 64: 131-138.
- Sakamoto K. y Y. Oba.** 1991. Relationship between the amount of organic material applied and soil biomass content. *Soil Sci. and Plant Nutrition.* 37: 387-397.
- Trépanier L., J. Gallichand, J. Caron y G. Thériault.** 1998. Environmental effects of deinking sludge application on soil and soil water quality. *Trans. ASAE.* 41(5):1279-1287.