

**Efecto de la adición de enmiendas orgánicas
sobre la cinética de la mineralización del
carbono en suelos del municipio Rivas Dávila,
estado Mérida, Venezuela**

Froilan Contreras*; Jorge Paolini;
Carmen Rivero*****

ABSTRACT

The organic materials incorporated to the soil are degraded at different speeds, from an extremely quick catabolism, detected when adding to the soil simple sugars as glucose, until an imperceptible catabolism of more complex polymers as the lignin and humic substances. It is necessary to know the speed of the different amendments used in agriculture. In this study it was evaluated, with the use of the pattern of the exponential double and the equation of first order, the kinetics of mineralization of the carbon. Two soils of characteristic contrasting were selected: Caricuena soil and The Cañada soil. The superficial soil, 0-15cm, was used. The soil was sieved at 2mm and it was blended with the respective amendment to generate the following treatments: Control (without amendment application), and 15 Mgha⁻¹ equivalent dose of poultry manure, caprine manure and Vermi-compost (VC-V). The liberation of CO₂ was determined by capture in an alkali trap and later titration of the base remainder with a standardized acid. The

Aceptado: 2005

* Departamento de Química (LIAQIA), Facultad de Ciencias, Apdo. 785101. Mérida, Venezuela.

** Centro de Ecología. IVIC. Miranda, Venezuela.

*** Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Apdo. 4579. Maracay 2101. Aragua. Venezuela.

results showed that independently of the soil the carbon mineralization was bigger when the amendment was poultry manure, followed by the caprine manure and finally the vermicompost.

The adjustment of the curves of accumulative of CO₂ produced by means of the mathematical pattern of the exponential double allowed to estimate the presence of two fractions (“pools”) of carbon: one of quick mineralization or labile and another of slow mineralization.

Key words: organic amendment, manure, mineralization, CO₂ production, soil

COMPENDIO

Debido a que los materiales orgánicos incorporados al suelo se degradan a diferentes velocidades, desde un catabolismo extremadamente rápido, detectado al añadir al suelo azúcares simples como la glucosa, hasta un catabolismo imperceptible de polímeros más complejos como las ligninas y las sustancias húmicas, se plantea la necesidad de conocer la velocidad de las distintas enmiendas usadas en agricultura, dado su efecto sobre la fertilidad del mismo. En este sentido se evaluó, con el uso del modelo de la doble exponencial y la ecuación de primer orden, la cinética de mineralización del carbono. Se seleccionaron dos suelos de características contrastantes: suelo Caricuena y suelo La Cañada. Se utilizó el suelo superficial, 0-15cm, el cual una vez tamizado a 2mm fue mezclado con la respectiva enmienda para generar los siguientes tratamientos: Control (sin aplicación de enmienda) y, aplicación de una dosis equivalente de 15Mgha⁻¹ de gallinaza, estiércol de caprino y vermicompost (VC-V). La liberación de CO₂ fue determinada por captura en una trampa de álcali y posterior titulación de la base remanente con un ácido estandarizado. Los resultados mostraron que independientemente del suelo usado la mineralización del carbono es mayor cuando la enmienda es gallinaza, seguido del estiércol de caprino y finalmente el vermicompost de ganado. El ajuste de las curvas acumulativas de desprendimiento de CO₂ por medio del modelo matemático de la doble exponencial permitió estimar la presencia de dos fracciones o almacenes (pooles) de carbono: uno de rápida mineralización o lábil y otro de mineralización lenta.

Palabras clave: enmiendas orgánicas, estiércol, mineralización, producción de CO₂, suelo

INTRODUCCION

Las sustancias orgánicas, que usualmente se descomponen en el suelo, son de naturaleza bioquímica compleja y degradada por una variedad heterogénea de microorganismos que se hallan en el sistema. Bajo esta situación, la liberación del dióxido de carbono es la sumatoria de la cinética individual de biodegradación de cada componente orgánico. Así, la velocidad de descomposición de estas sustancias se puede describir por ecuaciones cinéticas simples de primer orden con una serie de términos para cada grupo bioquímico presente en el sustrato.

Las velocidades de degradación pueden variar desde un catabolismo extremadamente rápido, detectado comúnmente al añadirse al suelo azúcares simples como la glucosa, hasta un catabolismo imperceptible de polímeros más complejos como las ligninas y las sustancias húmicas. Una representación genérica de la ecuación de descomposición sería:

$$Y_1(\text{biomasa del residuo}) = c_1 e^{-k_1 t} + c_2 e^{-k_2 t} + \dots$$

Donde c_1 y c_2 son las concentraciones individuales de las fracciones orgánicas, k_1 y k_2 las constantes de las velocidades de descomposición y t es el tiempo en el cual ocurre dicho proceso. Para cada componente bioquímico de las sustancias orgánicas complejas se puede añadir un término individual, pero la experiencia demuestra que los componentes pueden ser agrupados en una fracción lábil y otra más resistente y recalcitrante (Tate, 2000). Los modelos matemáticos más usados en la descripción de las curvas acumulativas del carbono mineralizado en el suelo se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Modelos usados para describir la cinética de la mineralización del carbono

Modelo	Ecuación	Referencia
Primer orden	$c_t = c_0(1 - e^{-kt})$	Murwira <i>et al.</i> (1990)
Primer orden especial	$c_t = c_0(1 - e^{-kt}) + c_1$	Jones (1984)
Función potencial linealizada	$c_t = kt^m$	Stanford y Smith (1972)
Función potencial no linealizada	$c_t = kt^m$	Broadbent (1986)
Orden cero	$c_t = kt + \text{intercepto}$	Seyfried y Rao (1988)
Doble exponencial	$c_t = c_1(1 - e^{-kt}) + c_2(1 - e^{-ht})$	Delphin (1988)

Donde c_t es el carbono mineralizado acumulado en un tiempo t (variable dependiente), t tiempo (días) desde el comienzo de la incubación (variable independiente), c_0 , c_1 y c_2 representan la cantidad de carbono potencial, rápida y lentamente mineralizable, respectivamente y, m , k y h son constantes de descomposición en (días). Los coeficientes de determinación (R^2) se usan para comparar el ajuste de los datos experimentales en los diferentes modelos matemáticos, muchos autores describen detalladamente el uso de estos modelos matemáticos en la mineralización del carbono en suelos o en mezclas suelo-enmiendas (Levi-Minzi *et al.*, 1990; Riffaldi *et al.*, 1996 y Saviozzi *et al.*, 1993 y 1997).

En este estudio se evaluó, con el uso del modelo de la doble exponencial y la ecuación de primer orden, la cinética de mineralización del carbono durante seis semanas de dos suelos de propiedades químicas y físicas contrastantes enmendados con gallinaza, vermicompost y estiércol de caprino en dosis equivalente de 15Mg ha^{-1} . Para cada suelo se contó con un control sin añadido de enmienda.

MATERIALES Y METODOS

Se evaluó por la producción de CO₂ durante un período de tiempo y en condiciones controladas de laboratorio (Alef y Nannipieri, 1995). Se prepararon un total de 52 recipientes para cada tratamiento (control y enmiendas, realizando el tiempo de medición y ensayo por triplicado).

Se seleccionaron dos suelos de características contrastantes, como son el suelo Caricuena y el de La Cañada 1, este último con propiedades medianamente útiles para la agricultura, mientras que el de Caricuena es extremadamente pobre, con bajos contenidos de nutrientes y materia orgánica.

La recolección de las muestras y el acondicionamiento de los distintos tratamientos se realizó al azar con un barreno a una profundidad de 0-15 cm, para luego mezclar en un recipiente de plástico (muestra compuesta de 15 barrenos). Se llevaron a la Facultad de Ciencias al Laboratorio de Investigación de Análisis Químico, Industrial y Agropecuario (IIAQIA) donde, luego de dejarlas secar al aire por varios días, se tamizaron a 2 mm. A cada uno de los suelos escogidos se le añadió la respectiva enmienda para generar los siguientes tratamientos: control (sin aplicación de enmienda), gallinaza, vermicompost (vc-v) y estiércol de caprino.

Las enmiendas fueron aplicadas en dosis equivalente de 15 Mg.ha⁻¹. Se utilizó un equipo para mezclar por cuarteo sucesivo a objeto de asegurar una homogeneización efectiva de la mezcla suelo-enmienda. La caracterización de los suelos se realizó siguiendo los métodos descritos por IGAC (1978). Las enmiendas orgánicas fueron obtenidas directamente de los productores de la zona (Contreras, 2002) y caracterizadas en el mismo laboratorio y con los mismos métodos usados para los suelos.

La liberación de CO₂ fue determinada por captura en una trampa de álcali y posteriormente se efectuó la titulación de la base remanente con un ácido estandarizado. El manejo de las ecuaciones se realizó con el paquete Graph-Pad Prism (1994).

RESULTADOS Y DISCUSION

La caracterización inicial de las enmiendas utilizadas se muestra en el Cuadro 2, y se evidencia su riqueza en materia orgánica y nutriente. En los suelos enmendados los patrones y cantidades de carbono orgánico mineralizado varían de forma importante, dependiendo del tipo de enmienda orgánica empleada (Figuras 1 y 2) y, a excepción del suelo La Cañada-Fertilizado enmendado con el vermicompost Vitara, éstas exceden a los suelos control durante el período de incubación.

Cuadro 2. Caracterización inicial de las enmiendas utilizadas

Enmiendas	pH H ₂ O	CIC (cmol _e /kg)	Ca	Mg	Na	K	Corg %	N _T	P _T	C/N
Gallinaza	8.1	59.7	3.5	0.8	0.80	5.0	25.8	3.0	0.50	8.6
Caprino	8.6	60.4	6.0	2.2	2.00	0.7	26.1	2.1	0.03	12.4
VC-Vitara	7.2	53.0	0.2	0.2	0.04	0.3	16.6	1.3	0.05	12.8
VC-CN	7.1	57.4	0.3	0.2	0.03	0.3	15.8	1.2	0.04	13.2

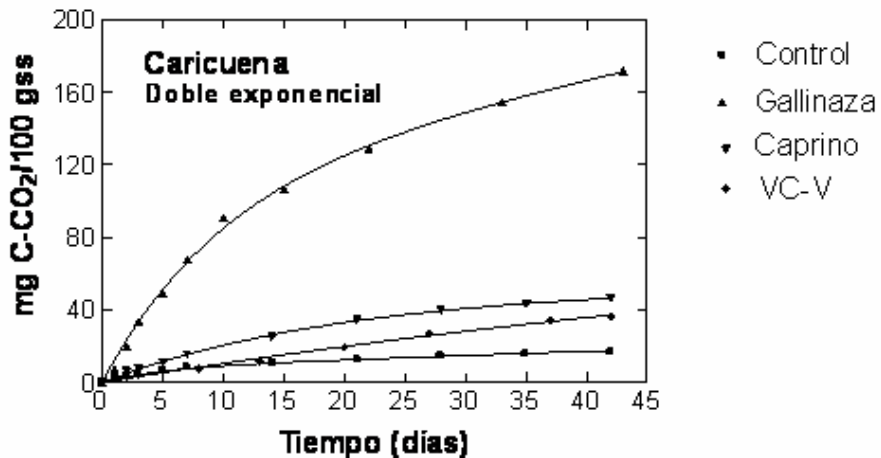


Figura 1. Curvas acumulativas del carbono orgánico desprendido como CO₂ del suelo Caricuena tratado con enmiendas orgánicas.

Se observa claramente, especialmente cuando se emplea la gallinaza, un rápido aumento del desprendimiento de CO_2 en los primeros días de incubación y posteriormente el incremento es lineal pero a una tasa menor. Para el estiércol de caprino y vermicompost la curva de acumulación es bastante similar a la del suelo sin enmienda (control).

Los suelos enmendados con gallinaza presentaron, al cabo de seis semanas, los mayores valores de carbono mineralizado, seguido por el estiércol de caprino y el vermicompost. Las tendencias observadas han sido descritas anteriormente por numerosos autores Beloso *et al.*, 1993; (Ajwa y Tabatabai, 1994; Levi-Minzi *et al.*, 1997; Bernal *et al.*, 1998; Pascual *et al.*, 1998a y b).

En los primeros días de las incubaciones se observan las mayores variaciones, producto del trabajo de los microorganismos ante la presencia de un material reciente y rico en sustancias fácilmente degradables como proteínas y azúcares que varían con el tipo de material (Lerch *et al.*, 1992).

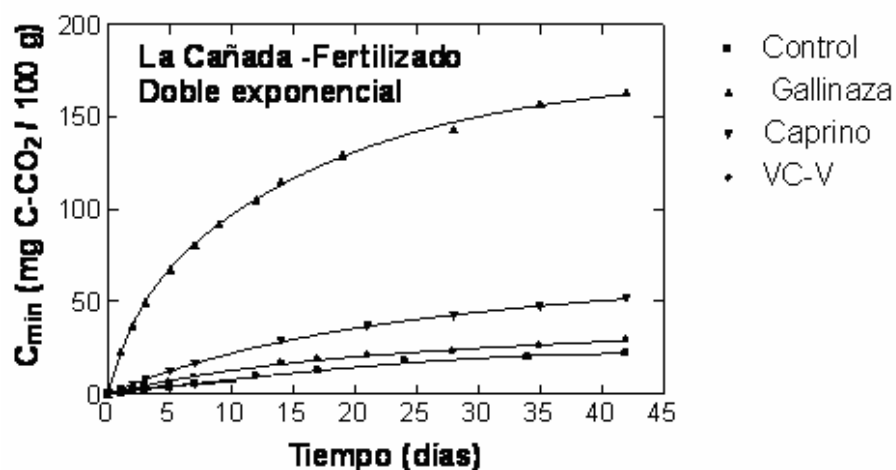


Figura 2. Curvas acumulativas del carbono orgánico desprendido como CO_2 del suelo La Cañada-Fertilizado tratado con enmiendas orgánicas.

Este comportamiento permite inferir que la gallinaza y el estiércol de caprino son los que muestran una mejor repuesta inicial, en lo que a la activación de los microorganismos del suelo se refiere, mientras el vermicompost presenta un comportamiento similar al del control en ambos suelos. A medida que transcurre la incubación, los sistemas comienzan a entrar en la etapa de estabilidad por cuanto el material, recientemente añadido de fácil degradación, comienza a agotarse y, por lo tanto, el número de microorganismos disminuye al igual que ella el desprendimiento de CO_2 . Esto ocurre hasta los veinte días de haber comenzado el proceso, excepto para la gallinaza en ambos suelos.

En este caso, se han elegido dos de las ecuaciones posibles: el modelo de la doble exponencial (dos reacciones simultáneas) y el modelo de primer orden, para comprobar si los datos de desprendimiento de CO_2 , obtenidos en esta experiencia se ajustaban a ellas. Los resultados obtenidos se resumen en los Cuadros 3 y 5, respectivamente. Es posible que existan otros modelos alternativos con un mejor ajuste, pero su mayor complejidad, en nuestra opinión, desaconseja su empleo, ya que se cree que para que un modelo sea válido, la primera premisa que debe cumplir es su simplicidad (Pascual, 1996). Los coeficiente de determinación (R^2) obtenidos para ambos modelos fueron altamente significativos, con valores por encima de 0.99 independientemente del material y suelo, con lo cual el ajuste se puede considerar satisfactorio.

En este modelo de la doble exponencial, C_1 corresponde al carbono orgánico lábil y C_2 representa las fracciones de carbono lentamente degradable, es decir más recalcitrante, las constantes de descomposición serían k y h respectivamente.

El análisis del Cuadro 2 permite afirmar que la fracción lábil del carbono (C_1) está en menor cantidad pero con una alta constante de descomposición y que la fracción estable o recalcitrante del carbono (C_2) está en mayor cuantía con una menor constante de descomposición; en otras palabras $C_1 < C_2$ y $k >> h$. La única excepción fue el suelo control La Cañada-Fertilizado en donde C_1 resultó mayor que C_2 . Estas mismas tendencias han sido descritas por otros autores como Gale y Gilmour (1986), Bernal y Kirchmann (1992), Saviozzi *et al.* (1997), Bernal *et al.* (1998), Glaser *et al.* (2001).

Cuadro 3. Modelo matemático de la doble exponencial aplicado a los datos acumulativos de mineralización de carbono

Muestra	C ₁ (mg/100g)	k (día ⁻¹)	C ₂ (mg/100g)	h (día ⁻¹)	R ²
Suelo Caricuena					
Control	6.69	0.2373	28.98	0.0110	0.9969
Gallinaza	107.64	0.1027	585.30	0.0027	0.9977
Caprino	50.20	0.0507	153.38	0.0003	0.9990
Suelo La Cañada					
Control	152.68	0.0061	1.96	-0.0478	0.9958
Gallinaza	36.66	0.4795	137.70	0.0579	0.9992
Chivo	42.43	0.0594	198.50	0.0016	0.9995
VC-V	3.45	0.4136	80.86	0.0038	0.9973

En el Cuadro 4 se comparan los valores experimentales y los estimados con el modelo doble exponencial de los datos acumulativos de carbono mineralizable y se calcula cuánto de cada enmienda añadida se mineralizó durante el experimento mediante la fórmula:

$$\% \text{ Carbono}_{\text{mineralizado}} = \frac{(C - \text{CO}_2 \text{ suelo enmendado} - C - \text{CO}_2 \text{ suelo control})}{C \text{ añadido}} \times 100$$

El carbono de la gallinaza se mineraliza en un 34-35 %, en las primeras cuatro semanas de la incubación y, por su parte, el vermicompost muestra una mineralización del carbono de apenas un 3-4 %, independientemente del suelo al cual se añade. Esto sugiere que del vermicompost podría hacerse un uso mas extendido, en cualquier tipo de suelo, dado que este abono suministra un aporte importante de carbono orgánico humificado el cual contribuye al restablecimiento de la materia orgánica nativa del suelo y causa mejoras en la calidad física del mismo, además de la disponibilidad lenta de los nutrientes contenidos en él.

Cuadro 4. Estimación con el modelo doble exponencial del C_t (mg C/100 g suelo) y comparación con los datos experimentales y el % del compost mineralizado a las 4 y 6 semanas

Días	Control	% C_{min}	Gallinaza	% C_{min}	Caprino	% C_{min}	VC-V	% C_{min}
Suelo Caricuena								
42	17.4	1.8	84.9	80.6	46.4	15.6	37.2	15
Experim	17.2		85.9		46.4		36.2	
28	14.4	0.7	72.4	34.5	39.6	6.7	26.6	6.4
Experim	14.6		77.2*		39.8		27.4,*	
Suelo La Cañada								
42	22.0	3.0	81.2	54.2	51.6	16.0	15.4	
Experim	22.2		81.6		52.0		15.4	
28	18.6	2.6	73.6	68.0	42.8	6.6	12.0	
Experim	17.6*		71.7*		42.4		11.8*	

El estiércol de caprino se mineraliza en un 7 % durante cuatro semanas y su caracterización lo muestra con un contenido de nutrientes aceptables, pero al poseer un bajo índice de humificación y un bajo contenido de carbono fácilmente mineralizable se hace menos susceptible a la mineralización. Es decir que para su uso habría posiblemente que recurrir a un incremento de su contacto físico con el suelo para incrementar su mineralización. Adicionalmente, el uso de este estiércol de caprino, debería considerar el efecto perjudicial que su alto contenido de sodio podría tener sobre la actividad microbiana del suelo. Por otra parte, al cabo de las seis semanas la gallinaza se mineralizó en promedio un 39 %, el estiércol de chivo en un 8 % y el vermicompost en un 6 %. Estos valores coinciden con los de la literatura.

La ecuación correspondiente al modelo matemático de primer orden se describe como:

$$C_t = C_0(1 - e^{-kt})$$

Donde C_t es el C-CO₂ desprendido al tiempo t, C_0 se corresponde con el carbono potencialmente mineralizable, k es la constante de descomposición y t es el tiempo transcurrido en el ensayo de mineralización. Esta ecuación ha sido aplicado en los estudios de mineralización de carbono y nitrógeno por numerosos autores entre los que podemos mencionar Smith *et al.* (1980), Sur y Sinha (1982), Chae y Tabatabai (1986), Gregorich *et al.* (1989), Ajwa y Tabatabai (1994); Kaboneka *et al.* (1997). Gijsman y Sanz (1998).

En este estudio se utilizó la ecuación de primer orden original dadas sus posibilidades de una aplicación mas extendida, los resultado obtenidos se presentan en el Cuadro 5. El coeficiente de determinación (R^2) fue bastante alto, con valores muy cercanos a los obtenidos con el modelo de doble exponencial. En dicho cuadro se incluyó el tiempo de vida media ($t_{1/2}$), el cual permite comparar el tiempo que debe transcurrir para que la fracción potencialmente mineralizable (C_0) disminuya su concentración a la mitad, cuyo cálculo se hace mediante la ecuación:

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{k}$$

donde k es la constante de descomposición.

Cuadro 5. Modelo matemático de primer orden aplicado a las curvas acumulativas de mineralización del carbono

Muestra	C_0 (mg C/100g)	k (día ⁻¹)	$t_{1/2}$ (días)	R^2
Suelo Caricuena				
Control	16.90	0.0786	8.823	0.9821
Gallinaza	178.44	0.0639	10.84	0.9957
Caprino	53.29	0.0484	14.32	0.9990
VC-V	100.02	0.0111	62.69	0.9951
Suelo La Cañada				
Control	31.97	0.0293	23.70	0.9930
Gallinaza	158.10	0.1006	6.89	0.9875
Caprino	60.05	0.0454	15.26	0.9994
VC-V	17.22	0.0452	15.35	0.9697

La información mostrada en el Cuadro 5, permite inferir que la gallinaza posee los mayores valores de carbono potencialmente mineralizable (158–178 mg C/100 g suelo) seguido de las otras enmiendas orgánicas como el estiércol de caprino (53–60 mg C/100 g suelo), el vermicompost (17–100 mg C/100 g suelo). Los suelos no enmendados mostraron valores comprendidos entre 16–32 mg C/100 g suelo. Estos valores son inferiores a los indicados por Ajwa y Tabatabai (1994), para suelos enmendados con residuos de cosecha, estiércoles de animales y lodos

de plantas depuradoras pero similares a los encontrados por Pascual *et al.* (1998a) para un Aridisol enmendado con bajas dosis de residuos sólidos urbanos, lodos de plantas depuradora y compost.

La relación entre C_0 y madurez de la enmienda no pudo ser establecida porque el número de datos es pequeño. Sin embargo, es posible visualizar el siguiente orden para el carbono potencialmente mineralizable: gallinaza > estiércol de caprino > vermicompost \geq suelo. Este orden coincide con la misma tendencia que presenta el índice de humificación encontrado en estos materiales (Contreras *et al.*, 2005).

En cuanto a los tiempos de vida media $t_{1/2}$, la gallinaza presentó los valores más bajos, lo cual indica que la cantidad de carbono potencialmente mineralizable es de vida corta. Esto concuerda con sus mayores constantes de descomposición de dicha enmienda. Tanto el estiércol de caprino como el vermicompost presentan, en el caso del suelo de La Cañada, valores muy similares de $t_{1/2}$ y constantes de descomposición.

Estos resultados permiten corroborar algunas premisas que al comenzar el trabajo se consideraron viables: dado que la gallinaza presenta los mayores contenidos de nutrientes y el mayor porcentaje de mineralización además de su descomposición en un tiempo más corto, apuntaría su uso como un material de aporte inmediato de nutrientes esenciales al suelo y a las plantas siempre y cuando no ocurra una inmovilización del nitrógeno por los microorganismos; mientras que los vermicomposts se podrían usar para reconstituir o restablecer los niveles de materia orgánica del suelo por su menor mineralización especialmente en aquellos suelos que presenten síntomas de degradación o agotamiento.

Respecto al abono de caprino, aunque su análisis indica un alto contenido de nutrientes, su baja capacidad para mineralizarse pudiera limitar su uso. Sin embargo, debido a su preferencia en la zona (no hay ordenanzas ni problemas higiénicos que impidan su aplicación como es el caso de la gallinaza) tendría que considerarse la posibilidad de mezclarlo con materiales que aporten sustancias rápidamente mineralizables y luego proceder a compostarlo. Posiblemente sea conveniente además estudiar su aplicación en una forma menos compacta que garantice un mayor contacto físico con las partículas del suelo.

CONCLUSIONES

El suelo La Cañada, con un historial previo de fertilización orgánica e inorgánica, exhibió los mayores valores en la mineralización del carbono a diferencia del suelo prístino de Caricuena. Independientemente del suelo usado la mineralización del carbono es mayor cuando la enmienda es gallinaza, seguido del estiércol de caprino y finalmente el vermicompost de ganado.

El ajuste de las curvas acumulativas de desprendimiento de CO₂ por medio del modelo matemático de la doble exponencial permitió estimar la presencia de dos fracciones o almacenes (pooles) de carbono: uno de rápida mineralización o lábil y otro de mineralización lenta.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo fue realizado en el Laboratorio de Investigación de Análisis Químico, Industrial y Agropecuario (LIAQIA) de la Facultad de Ciencias de la ULA, con la colaboración del CDCHT proyectos: C-731-95-01-C y C-904-98-01-A.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ajwa, H.A.; M.A. Tabatabai. 1994. Decomposition of different organic materials in soils. *Biol. Fert. Soils*. 18: 175-182.
- Alef, K.; P. Nannipieri. 1995. *Methods in applied soil microbiology and Biochemistry*. London. Academic Press, 450 p.
- Beloso, M.C.; M.C. Villar, A. Carbaneiro, M. Carballas; S.J. Gonzalez-Prieto; T. Carballas. 1993. Carbon and nitrogen mineralization in an acid soil fertilized with composted urban refuse. *Biores. Technol.* 45: 123-129.
- Bernal, M.P.; H. Kirchmann. 1992. Carbon and nitrogen mineralization and ammonia volatilization: from fresh, aerobically and anaerobically treated pig manure during incubation with soil. *Biol. Fertil. Soils*. 13:135-140

- Bernal, M.P.; M.A. Sánchez-Monedero; C. Paredes; A. Roig. 1998. Carbon mineralization from organic wastes at different composting stages during their incubation with soil. *Agriculture. Ecosys. Environ.* 69: 175-189
- Broadbent, F.E. 1986. Empirical modeling of soil nitrogen mineralization. *Soil Sci.* 141:208-213.
- Chae, Y.M.; M.A. Tabatabai. 1986. Mineralization in an aridisol mixed with various organic materials. *J. Environ. Qual.* 15: 193-198.
- Contreras, F. 2002. Efecto de la adición de enmiendas orgánicas sobre las actividades enzimáticas (deshidrogenasa, ureasa, fosfomonoesterasa ácida y arilsulfatasa) y la mineralización del carbono en suelos del Municipio Rivas Dávila (estado Mérida). Trabajo de grado. Doctor en Ciencia del Suelo, Maracay, Venezuela. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. 144 p.
- Contreras, F.; J. Paolini; C. Rivero. 2005. Efecto de la adición de enmiendas orgánicas sobre la actividad de la ureasa y la mineralización del carbono en suelos del municipio Rivas Dávila (estado Mérida). *Rev. Fac. Agron. (Maracay)*. En prensa.
- Delphin, J. E. 1988. Utilisation de cinétique du premier ordre en vue de caractériser la minéralisation de quelques sols agricoles. *Agronomie* 8:289-294.
- Gale, P. M.; T. Gilmour. 1986. Carbon and nitrogen mineralization kinetics for poultry litter. *J. Environ. Qual.* 15(4): 423-426.
- Glasser, B.; J. Lehmann; M. Fuhrbister; D. Solona; W. Zech. 2001. Carbon and nitrogen mineralization in cultivated and natural savanna soils of Northern Tanzania. *Biol. Fertil. Soils* 33: 301-309.
- Gisjman, A. J.; J. I. Sanz. 1998. Soil organic matter pools in a Volcanic-ash soil under fallow or cultivation with applied chicken manure. *European J. Soil. Sci.* 49: 427-436.
- Graph Pad Prism. 1994. Graph Pad. Software. San Diego, California.

- Gregorich, E. G.; R. G. Kachanosky; R.P. Voroney 1989. Carbon mineralization from organic wastes at different composting stages during their incubation with soil. *Agric. Ecosys. Environ.* 69: 175-180.
- Instituto Geográfico “Agustín Codazzi” (IGAC). 1978. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Bogotá, Colombia. Ministerio de Hacienda y Crédito público. 663 p.
- Jones, C. A. 1984. Estimation of an active fraction of soil nitrogen. *Commun. Soil. Sci. Plant Anal.* 15: 23.
- Kaboneka, S.; W. E. Sabbe; A. Mauromoustakos. 1997. Carbon decomposition kinetics and nitrogen mineralization from corn, soybean and wheat residues. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 28(15 - 16):1359-1373.
- Lerch, R. N.; K. A. Barbarick; L. E. Sommers; D. G. Westfall. 1992. Sewage sludge proteins as labile carbon and nitrogen sources. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 56: 1470-1476.
- Levi-Minzi, R.; R. Riffaldi; A. Saviozzi. 1990. Carbon mineralization in soil amended with different organic materials. *Agric. Ecosyst. Environ.* 31: 325-335.
- Levi-Minzi, R.; R.A. Saviozzi; R. Riffaldi; R. Basci. 1997. Decomposition of winery-sludge as affected by soil characteristics; a laboratory trial. *Agrochimica* 41(6): 247-251.
- Murwira, H. K; H. Kirchmann; H. J. Swift. 1990. The effect of moisture on the decomposition rate of cattle manure. *Plant and Soil* 122: 197-199.
- Pascual, J. A. 1996 Efectividad de los residuos orgánicos en la mejora de la calidad de suelos áridos: aspectos biológicos y bioquímicos. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia (España). 428 p.

- Pascual, J. A.; T. Hernandez; C. Garcia; M. Ayuso. 1998a. Carbon mineralization in an arid soil amended with organic wastes of varying degrees of stability. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 26: 835-846.
- Pascual, J. A.; T. Hernandez; C. García; A. García. 1998b. Changes in the organic matter mineralization rates of an arid soil after amendment with organic wastes. *Arid Soil Research Rehabil.* 12: 63-72.
- Riffaldi, R.; A. Saviozzi; R. Levi-Minzi. 1996. Carbon mineralization kinetics as influenced by soil properties. *Biol. Fertil. Soils* 22: 293-298.
- Saviozzi, A.; R. Levi-Minzi; R. Riffaldi. 1993. Mineralization parameters from organic materials added to soil as a function of their chemical composition. *Biores. Technol.* 45 : 131- 135.
- Saviozzi, A.; R. Levi-Minzi; R. Riffaldi; G. Vanni. 1997. Role of chemical constituents of wheat straw and pig slurry on their decomposition in soil. *Biol. Fertil. Soils* 25; 401-406.
- Seyfried, M. S.; P. S. C. Rao. 1988. Kinetics of nitrogen mineralization in Costa Rica Soils: model evaluation and pretreatment effects. *Plant and Soil* 106: 159-169.
- Smith, J. L.; R. R.; Schnobel; B.L. McNeal; G. S. Campbell. 1980. potential errors in the first-order model for estimating soil nitrogen mineralization potentials. *Soil. Sci. Soc. Am.* 44: 996-1000.
- Stanford, G.; S. J. Smith. 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil. Soc. Am. Proc* 36: 465-472.
- Sur, H. P. ; M. K. Sinha. 1982. Kinetics of carbon mineralization in aridisol mixed with various organic materials. *J. Indian. Soc. Soil. Sci.* 30(3): 270-274.
- Tate, R. L. 2000. *Soil microbiology.* 2 ed. New York, John Wiley, 508 p.