

RESPIRACIÓN DE CO₂ COMO INDICADOR DE LA ACTIVIDAD MICROBIANA EN ABONOS ORGÁNICOS DE LUPINUS

Respiration of CO₂ as an Indicator of Microbial Activity in Organic Fertilizers of Lupinus

Pilar Lourdes Guerrero-Ortiz^{1‡}, Roberto Quintero-Lizaola¹, Vicente Espinoza-Hernández¹, Gerardo Sergio Benedicto-Valdés¹ y María de Jesús Sánchez-Colín²

RESUMEN

Con la finalidad de estudiar la mineralización de abonos orgánicos constituidos de lupinus, se estableció un ensayo de incubación durante 30 días en condiciones controladas de humedad y temperatura, para lo cual se realizaron mezclas de: *Lupinus montanus* Kunth verde y transformado como compost madura y vermicompost con suelo franco-arenoso (50 g de compost y vermicompost en 100 g de suelo, y 40 g de abono verde en 100 g de suelo). Los resultados obtenidos indicaron que el lupinus fresco fue el que presentó un mayor desprendimiento de CO₂, mientras que el compost y el vermicompost presentaron menor acción de la biomasa microbiana, esto se puede atribuir a que los abonos orgánicos presentaron distintas etapas de descomposición ya que cada uno tuvo un proceso biológico donde el colapso físico y la transformación bioquímica de las moléculas de los complejos orgánicos de los materiales muertos se convirtieron en moléculas simples e inorgánicas (Juma, 1998).

Palabras clave: biotransformación, mineralización, oxidación.

SUMMARY

To study mineralization of lupinus organic fertilizers, a 30 day trial of incubation was established under controlled humidity and temperature. The fertilizers were made of mixtures of *Lupinus montanus* Kunth: green, in mature compost and vermicompost mixed with sandy loam soil (50 g compost and vermicompost in 100 g soil,

and 40 g green manure in 100 g soil). The results obtained indicated that fresh lupinus released the most CO₂, while the compost and vermicompost had lower microbial biomass action. This can be attributed to organic fertilizers in different stages of decomposition, each with a biological process in which the physical collapse and biochemical processing of complex organic molecules of dead materials produced simpler inorganic molecules (Juma, 1998).

Index words: biotransformation, mineralization, oxidation.

INTRODUCCIÓN

Cuando los residuos vegetales son incorporados al suelo, varios compuestos orgánicos se descomponen. Los residuos de los cultivos contienen principalmente compuestos complejos de carbono que se originan en las paredes celulares. La descomposición sucesiva del material muerto y la materia orgánica modificada van afectando las propiedades del suelo, incrementando la agregación del suelo y la estabilidad de los agregados; aumenta la capacidad de intercambio catiónico y aporta nitrógeno, fósforo y otros nutrientes durante su lenta descomposición.

Durante la descomposición de la materia orgánica del suelo, los nutrientes orgánicos se convierten en formas inorgánicas disponibles para las plantas. Esta conversión se conoce como mineralización (Steubing *et al.*, 2001). Por lo que en la presente investigación, se utilizaron diferentes abonos orgánicos con distintos estados de descomposición de acuerdo al proceso al que fueron sometidos.

El composteo se define como un proceso biooxidativo de los residuos orgánicos en condiciones controladas de temperatura, humedad y aireación, en la cual participan grupos microbianos, dependiendo de la etapa del proceso (Brady y Weil, 1999; citado por Velasco, 2004). El vermicompost es una alternativa que incluye lombrices como organismos macrodescomponedores en el proceso

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, Estado de México.

[‡] Autor responsable (guerrero.pilar@colpos.com)

² Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. Av. Guelatao No. 66, Col. Ejercito Oriente, Iztapalapa. 09230 México, D. F.

de descomposición, bio-oxidación y estabilización de la materia orgánica por la acción metabólica de las lombrices y los microorganismos, debido a su capacidad de descomponer y reciclar nutrientes (Spurgeon *et al.*, 1994). El vermicompost es el resultado de la biotransformación de materia orgánica a través del tubo digestivo de la lombriz, (Gabriel *et al.*, 2011). Por otro lado García *et al.* (2002), mencionan que los cultivos en verde pueden constituir una práctica económica y viable para sustituir parcial o totalmente las necesidades de fertilizantes minerales. El establecimiento de prácticas agrícolas que permitan la disposición adecuada de desechos orgánicos, de diversos orígenes, constituye una vía para reciclar tales residuos y así aminorar impactos negativos al ambiente, además que se convertirán en nutrimentos para las plantas y organismos del suelo. La evolución del CO₂ es un parámetro ligado al manejo de materiales orgánicos el cual representa una medición integral de la respiración del suelo, conocida como respiración edáfica basal (respiración de las raíces, fauna del suelo y la mineralización del carbono a partir de diferentes "pools" del carbono de suelo y desechos), es decir, representa la estimación de la actividad microbiana (García y Rivero, 2008). Frankenberger y Dick (1983, citado por Ajwa *et al.*, 1999), señalaron que existe una relación muy estrecha entre la actividad biológica de un suelo y su fertilidad por lo que parámetros vinculados a la primera han sido propuestos como indicadores apropiados del mencionado impacto, uno de ellos es la producción de CO₂ (como reflejo del sustrato carbonado consumido por los microorganismos), el carbono o el nitrógeno unido a la biomasa microbiana y la actividad de las enzimas del suelo (Ajwa *et al.*, 1999).

La descomposición de la materia orgánica es un proceso ecosistémico mediado por organismos heterótrofos que utilizan al material orgánico muerto o detritus como hábitat y fuente de carbono y energía, este gas se produce, fundamentalmente, a través del metabolismo de la microflora y de las raíces de la planta, siendo la descomposición microbiana de compuestos orgánicos el proceso más importante que lo genera. Durante la descomposición una parte del carbono es devuelto a la atmósfera en forma de CO₂, mientras que otra se transforma en otros compuestos más sencillos o se almacena en las propias estructuras microbianas (Pérez *et al.*, 1998). En particular, la respiración metabólica de la comunidad de organismos asociados al detritus orgánico es el proceso que libera el carbono hacia la atmósfera en forma de CO₂. De esta manera,

la respiración heterotrófica contribuye a la descomposición, junto a otros procesos como la humificación y la fragmentación del detritus (Carmona *et al.*, 2006). Los microorganismos respiran continuamente y la tasa de respiración es un índice confiable de la tasa de crecimiento. Los factores que afectan el crecimiento también influyen en la respiración en el mismo grado.

Las tasas de descomposición y liberación de los nutrientes están determinadas por la calidad de la materia orgánica. La calidad del material vegetal es definida por los constituyentes orgánicos y los contenidos de nutrientes. La calidad del carbono de un material orgánico depende de las proporciones del carbón soluble, la celulosa (hemicelulosa) y la lignina; en este caso la calidad se refiere a la energía disponible para los organismos descomponedores (Sánchez *et al.*, 2008).

Durante las etapas iniciales de la descomposición de los materiales orgánicos recientemente incorporados hay un rápido aumento en el número de organismos heterótrofos, acompañado por la emisión de grandes cantidades de CO₂ (Havlin *et al.*, 1999). De esta manera la actividad microbiológica global también puede ser considerada como el reflejo del nivel energético de un medio dado. Además que al incorporar el lupinus como abono verde se ha demostrado que se incrementa la cantidad de materia orgánica, estructura y retención de humedad del suelo.

El objetivo principal de este trabajo fue estudiar la evolución de CO₂ en mezclas de suelo con diferentes abonos orgánicos elaborados con lupinus.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de este ensayo se utilizó compost de *Lupinus montanus* Kunth, vermicompost de la misma especie de lupinus, y lupinus verde en etapa de floración, los cuales se mezclaron con suelo franco-arenoso procedente de San Diego municipio de Texcoco (59% arena, 25% limo y 16% arcilla); para el caso del compost y vermicompost fueron 50 g de residuos en 100 g de suelo seco, y en el lupinus verde únicamente fueron 40 g, lo cual representa 50 y 40% respectivamente; estas dosis se establecieron con el fin de probar si un material fresco, a pesar de tener una menor concentración de planta sería mayor la producción de CO₂.

Para lograr la sustentabilidad de los suelos donde se incorporan residuos orgánicos, es importante estimar

las dosis de aplicación en función del requerimiento de nitrógeno del cultivo a establecer (Figuroa y Cueto, 2003); la información que existe en el país sobre evaluación y dosificación de residuos orgánicos estabilizados es escasa. Generalmente se define la calidad de estos acondicionadores por su contenido de nitrógeno, fósforo y potasio totales, la dosificación de estos residuos es uno de los problemas en el diseño de sistemas agrícolas sustentables por lo que su dosificación fue parte del ensayo. Los parámetros medidos fueron pH (extracto acuoso relación 1:2) (Ansorena, 1994); conductividad eléctrica (extracto 1:5) mediante conductivímetro (Ansorena, 1994); contenido de materia orgánica del suelo (MOS) (Walkley y Black, 1934); C-orgánico con base en los resultados de la MOS, mediante el factor de Van Bemmelen = 1.724; y N por el método de Kjeldahl (NOM-021-REC/NAT-2000) se realizaron en el laboratorio de física de suelos del Colegio de Postgraduados.

El análisis de las variables se hizo con base en un modelo lineal completamente aleatorio. La prueba de medias utilizada fue Tukey ($P \leq 0.05$).

Las propiedades químicas de los materiales orgánicos utilizados en las mezclas de suelo con material orgánico se muestran en el Cuadro 1.

La variable evaluada fue la emisión de CO₂ después de 30 días de incubación. Las unidades experimentales fueron frascos de plástico de 1000 mL. Todos los sustratos fueron humedecidos al 70% de su capacidad de retención hídrica al momento de los ensayos. La incubación se realizó a temperatura ambiente. Cada unidad experimental fue replicada 10 veces.

El desprendimiento de CO₂ se midió diario durante 30 días de incubación. Se usó el método de incubación en medio cerrado con 5 mL de NaOH 1N descrito por Anderson (1982), y el desprendimiento de CO₂ se estimó mediante titulación con HCl 0.1N, en presencia de tres gotas de fenofaleína al 1% y luego de la precipitación

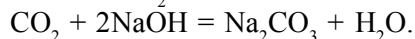
Cuadro 1. Propiedades químicas de compost, vermicompost y lupinus.

	pH	CE	MO	C	N
		dS m ⁻¹	- - - - -	% - - - - -	- - - - -
Compost	8.16	0.107	17.06	9.92	0.78
Vermicompost	7.9	0.118	23.93	13.91	1.04
Lupinus	5.19	0.055	40.81	23.72	1.88

CE = conductividad eléctrica; MO = materia orgánica; C = carbono; N = nitrógeno.

de los carbonatos con 3mL de BaCl₂ al 2%. Se consideraron tres blancos, sin adición de sustrato, para controlar la presencia de CO₂ en los frascos.

El CO₂ liberado durante la respiración aeróbica en suelos puede ser adsorbido en solución alcalina y medida como un índice de la tasa de respiración. La reacción en la cual el CO₂ es adsorbido es:



La cantidad de CO₂ adsorbido es equivalente a la cantidad de NaOH consumido. Para determinar esto, se precipitó el carbonato (CO₃²⁻) con BaCl₂ y se titula el remanente NaOH con HCl.

De la diferencia entre la cantidad de NaOH presente inicialmente y la remanente después de la exposición al CO₂ se obtiene la cantidad de gas producido por respiración mediante la siguiente fórmula:

$$R = (B-M) / NE \quad (1)$$

donde:

R = respiración microbiana en mg CO₂

B = volumen de ácido necesario para titular el NaOH del promedio de los blancos (en mL)

M = cantidad de ácido necesaria para titular el NaOH de la muestra (en mL)

N = normalidad del ácido

E = peso equivalente del CO₂

La acumulación de CO₂ se determinó únicamente sumando los mg de CO₂ que se producían cada día, con los mg de CO₂ de días anteriores. La tasa relativa de mineralización representa la eficiencia de los materiales utilizados para mineralizarse en un tiempo determinado dado en gramos de mineralización ganados por gramo de mineralización existente por unidad de tiempo (g g⁻¹ día⁻¹).

$$\text{TRM} = (\ln P_2 - \ln P_1) / (t_2 - t_1) \quad (2)$$

La tasa absoluta se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{TAM} = (P_2 - P_1) / (t_2 - t_1) \quad (3)$$

donde:

P = peso

t₂-t₁ = intervalo de tiempo entre el muestreo final e inicial, respectivamente

P₂-P₁ = mineralización medida por dos días consecutivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evolución de Bióxido de Carbono (CO₂) de los Abonos Orgánicos

En los primeros cinco días de la incubación se observaron mayores variaciones, producto 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). El lupinus verde, vermicompost y compost tuvieron un máximo de 649.44, 474.61 y 381.99 mg de CO₂ g⁻¹, respectivamente (Figura 1).

La cantidad de C-CO₂ desprendido por la actividad biológica de los diferentes abonos orgánicos incubados durante 30 días provocó un incremento de la respiración en el tratamiento de lupinus verde respecto al compost y vermicompost y fue estadísticamente superior ($P = 0.05$).

El tratamiento más fresco, que no tuvo ningún proceso de descomposición anterior a la incubación, fue el lupinus verde, el cual desprendió mayor cantidad de CO₂ (649.44 mg de CO₂ g⁻¹), esto coincide con los resultados obtenidos por Contreras *et al.*, (2006) que incubaron diferentes materiales y obtuvieron que la gallinaza y el estiércol de caprino 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. El C 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 C de apenas un 3-4%, independientemente del suelo al cual se añade. Esto sugiere que del vermicompost podría hacerse un uso más 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.

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 el desprendimiento de CO₂.

En los primeros días de las incubaciones se observaron las mayores variaciones, producto de la actividad 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). Los incrementos registrados se concentraron básicamente en los primeros 10 días posteriores a la incorporación. Esto se vincula a la degradación inmediata de las fracciones orgánicas

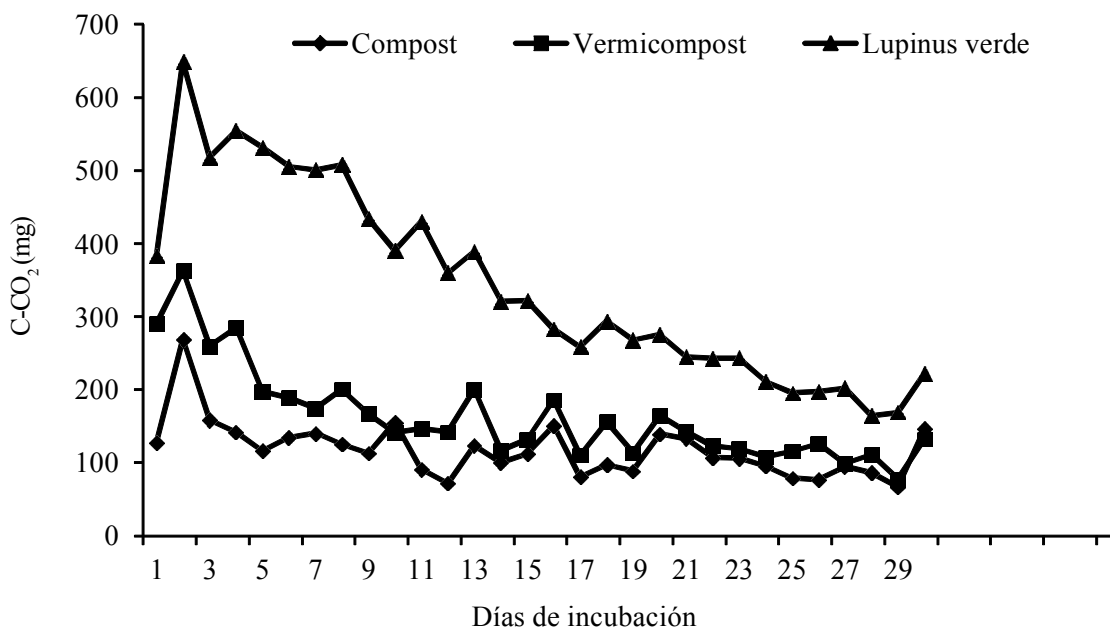


Figura 1. Evolución de C-CO₂ de diferentes abonos orgánico de Lupinus en 30 días de incubación.

lábiles presentes en el material añadido, con la consecuente producción de energía para el crecimiento de los microorganismos (Rivero y Hernández, 2001). Estos resultados coinciden con los obtenidos por Stott *et al.* (1986), quienes indicaron que las diferencias significativas en la descomposición de residuos, sólo son detectables como máximo hasta treinta días posteriores a la incorporación de los materiales orgánicos (Rivero y Hernández, 2001).

Acumulación de CO₂ de Diferentes Abonos Orgánicos

La cantidad de C-CO₂ acumulado desprendido por la actividad biológica de las mezclas de los abonos orgánicos de lupinus incubadas durante un período de cuatro semanas muestra como la aplicación del residuo fresco provoca un incremento de la respiración respecto al compost y vermicompost (Figura 2).

Durante los primeros 20 días de incubación, el proceso de emisión de CO₂ fue bastante intenso, aumentando más en los primeros 20 días (2538.95 mg de CO₂ g⁻¹ en compost, 3735.87 mg de CO₂ g⁻¹ vermicompost y 8177.71 mg de CO₂ g⁻¹ en lupinus verde) (Figura 2).

Este incremento se puede atribuir al contenido de C orgánico presente en los materiales de partida, los cuales suministraron el sustrato necesario para la proliferación de los microorganismos responsables de la descomposición. La actividad de los microorganismos que intervienen al inicio del proceso es máxima, como consecuencia de tener a su alcance gran cantidad de compuestos fácilmente biodegradables procedentes de los materiales orgánicos de partida (Acosta *et al.*, 2006).

Dos tratamientos con un proceso de descomposición (compost y vermicompost) anterior a la incubación mostraron un menor incremento de la respiración, esto se debe a que estos tratamientos contienen material de más difícil descomposición.

Ayuso *et al.* (1996), indican que mientras más estable es la materia orgánica, la emisión de CO₂ y la actividad microbiana son menores ya que existe menos material de fácil descomposición lo que impide la degradación por parte de los microorganismos.

En las titulaciones realizadas por Acosta *et al.* (2006), hechas cada 7, 15, 39 y 106 días para la evolución de CO₂ de compostas elaboradas de estiércol de chivo, residuo del procesamiento de la sábila y lodo residual del tratamiento de aguas servidas, indican un decaimiento

en los valores de C-CO₂ obtenido diariamente. Esta disminución en los valores C-CO₂, pone de manifiesto, que en el proceso global de la mineralización de carbono se definen secuencialmente y alternativamente dos etapas fundamentales. La primera etapa corresponde al incremento en la actividad biológica y a la degradación por parte de los microorganismos de sustancias fácilmente biodegradables tales como azúcares, lípidos, fenoles, ácidos orgánicos, los cuales estimulan tanto el crecimiento como la respiración de un gran número de microorganismos, ya que son fuente de carbono y energía, de rápida utilización y de bajo costo. La segunda etapa definida, está descrita por la disminución en el desprendimiento de C-CO₂, la cual define también un decrecimiento en la actividad biológica, como consecuencia de la disminución de las sustancias fácilmente biodegradables, provocando así su estabilización al final del proceso.

Almansa *et al.* (2007), trabajando con estiércol fresco encontraron, a través del desprendimiento de CO₂, una elevada tasa de descomposición paralela a una fuerte inmovilización del nitrógeno debido al grado de estabilidad del material. El estiércol estabilizado presenta una tasa de descomposición menor y una mineralización del nitrógeno orgánico del orden del 30-40%.

El desprendimiento de CO₂ acumulado para los distintos tratamientos fue creciente en el tiempo. Las mayores emisiones diarias de CO₂ se alcanzaron el segundo día de incubación en cada uno de los tratamientos (Figura 2).

Las altas intensidades iniciales de emisión de CO₂, reflejarían la presencia de carbono de disponibilidad inmediata en los sustratos orgánicos provenientes de compuestos fácilmente degradables (Santibáñez *et al.*, 2006). Se observó la mayor emisión de C-CO₂ en lupinus fresco, seguido por el vermicompost y al último el compost. Para este parámetro se encontraron diferencias significativas ($P=0.05$) entre los diferentes tratamientos. La cantidad de C-CO₂ acumulado, mostró como la aplicación del residuo provocó un incremento de la respiración entre los distintos tratamientos alcanzando valores de CO₂ acumulado de 11 182.99, 5293.82 y 3717.24 mg de CO₂ g⁻¹ en lupinus verde, vermicompost y compost, respectivamente.

El carbono final en los compost contribuye a mantener fracciones más estables, ya que los de fácil descomposición empiezan a agotarse, aumentando la relación C/N.

Durante los primeros 10 días se observó una respuesta inmediata con diferencias significativas entre

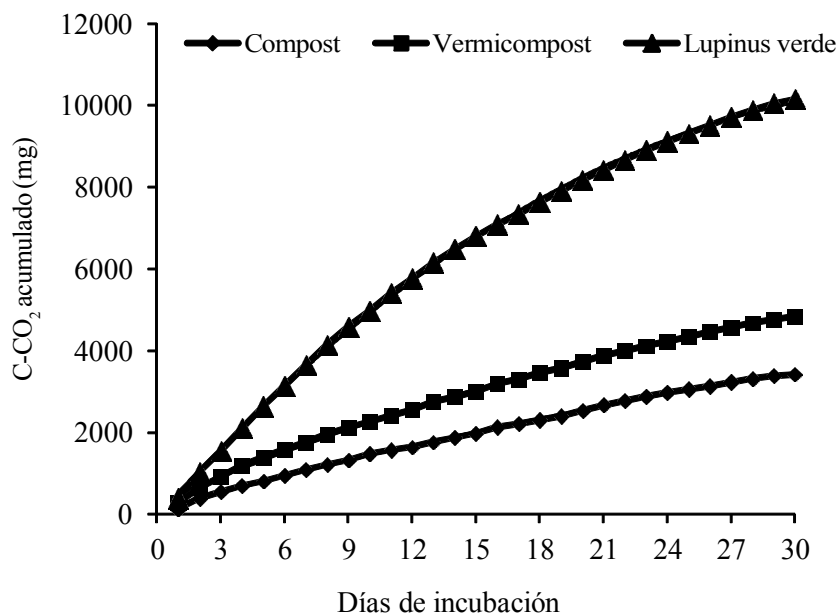


Figura 2. C-CO₂ acumulado de diferentes abonos orgánico de Lupinus en 30 días de incubación.

los tres abonos orgánicos, ello como resultado de la promoción del crecimiento y la actividad microbiana debido al aporte de carbono fácilmente asimilable en los tres abonos; después de los diez días sus cambios fueron menos significativos. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Stott *et al.* (1986, citado por García y Rivero, 2008) quienes indicaron que las diferencias significativas en la descomposición de residuos, sólo son detectables como máximo hasta treinta días posteriores a la incorporación de los materiales orgánicos (García y Rivero, 2008). Sin embargo, la tendencia no es estable durante el período de incubación, por mostrar oscilaciones durante el mismo. Esto evidencia el agotamiento del sustrato carbonado más lábil, los pequeños incrementos hacia el final de la incubación obedecen a la descomposición del material recalcitrante. Además, se debe considerar la dinámica del carbono unido a la biomasa microbiana misma: muerte de las células y reutilización del sustrato.

Tasas de Mineralización

La mineralización se puede determinar por medio de la tasa de liberación de CO₂. Partiendo de materia orgánica fresca se presenta una etapa muy activa, que corresponde a la liberación de materiales orgánicos lábiles (azúcares, amino-azúcares, aminoácidos y ácidos

orgánicos), seguida de una segunda etapa en la que la actividad biológica es decreciente. En ella se quedan los materiales recalcitrantes (Acosta, 2006).

La velocidad o tasa de mineralización de la materia orgánica expresa el porcentaje de carbono inicial que se mineraliza en un periodo de tiempo determinado; además, la mineralización constituye un indicador de la actividad biológica en un medio dado.

En el presente estudio, aunque los compost tuvieron un incremento en la evolución del C-CO₂ este fue significativamente menor que en el tratamiento con lupinus fresco. Tal comportamiento podría explicarse por una menor cantidad de carbono disponible para los microorganismos debido al mayor grado de estabilidad que alcanzó el lupinus al ser compostado y vermicompostado contra el lupinus fresco sin compostar, ya que durante el proceso de compostaje, los microorganismos rompen la materia orgánica y producen CO₂, agua, humus, el producto orgánico final más estable y calor.

La tasa de mineralización relativa depende de la acumulación de carbono en el tiempo. Su tendencia fue decreciente para los tres tratamientos, ya que a medida que transcurrían los días, el carbono se iba agotando.

Para los materiales evaluados se observó que el compost fue el tratamiento que presentó la tasa más alta de mineralización relativa al final del ciclo de

evaluación: 0.017 g g⁻¹día⁻¹; sin embargo, no presentaron los tratamientos diferencias significativas (Figura 3). Considerando todo el período de la incubación el tratamiento que mostró la mayor tasa

absoluta de mineralización con 104.79 g cm⁻² día⁻¹ fue lupinus fresco y 79.31 g m⁻²día⁻¹ vermicompost, seguidas del compost con valores de 35.01 g cm⁻² día⁻¹ (Figura 4).

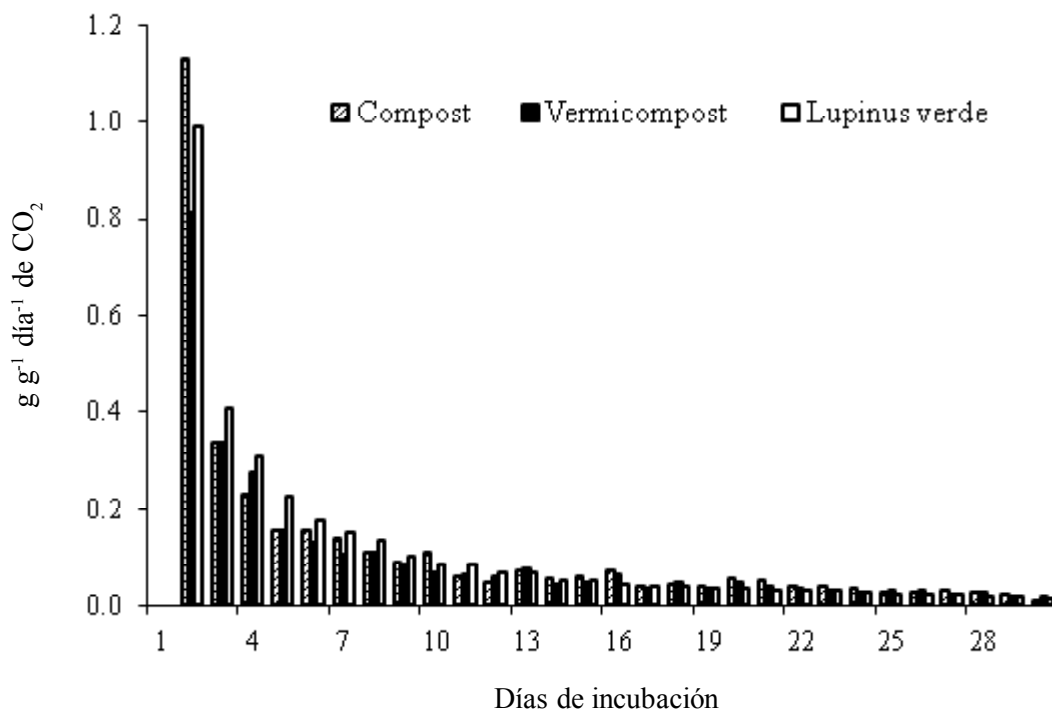


Figura 3. Tasa relativa de mineralización de abonos orgánicos de Lupinus en 30 días de incubación.

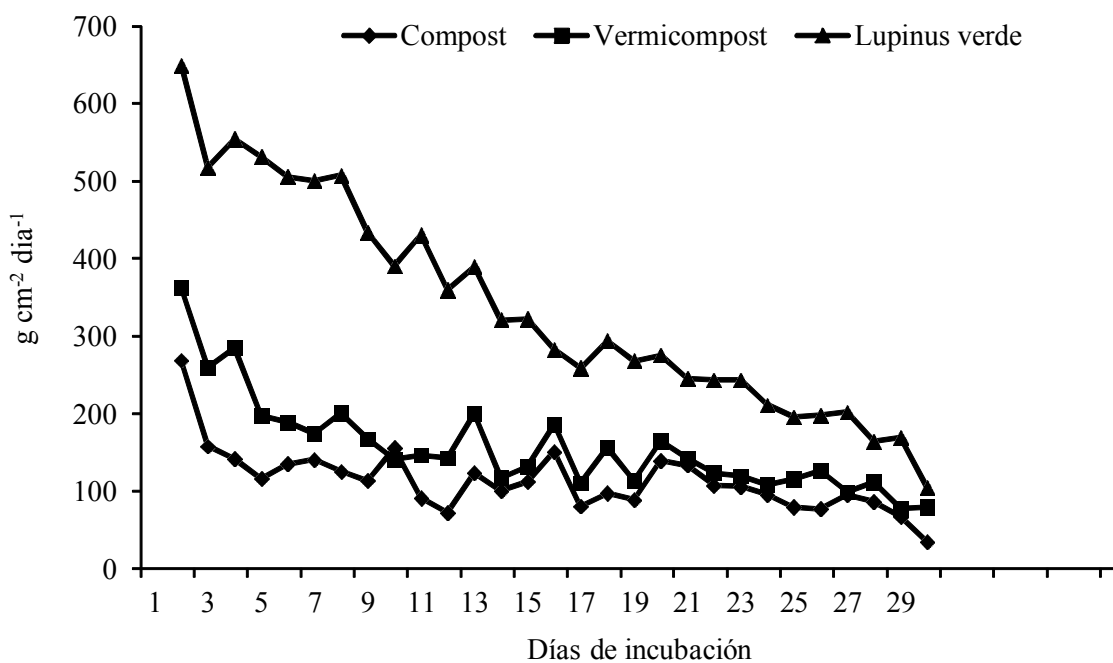


Figura 4. Tasa absoluta de mineralización de abonos orgánicos de Lupinus en 30 días de incubación.

CONCLUSIONES

- El material que presentó una mayor actividad microbiana (mayor desprendimiento de C-CO₂), fue el lupinus, el que presentó menor respiración de CO₂ fue el compost, lo cual en su aplicación evita riesgos en el sistema suelo-planta asociados a la oxidación del material del suelo e incrementa la fertilidad del suelo.
- El desprendimiento de CO₂, puede considerarse como uno de los parámetros sensibles a los cambios que ocurren en la transformación de la materia orgánica.
- Los mejoradores orgánicos estables mantuvieron e incrementaron el contenido de materia orgánica al permitir una menor pérdida de C orgánico en forma de CO₂.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo al M. C. Francisco Landeros Sánchez y a María de Jesús Hernández Frago, Silvia Ayala Delgadillo y María Barrera Zamora Hernández encargadas del Laboratorio de Física de Suelos por proporcionarnos su ayuda con los materiales y equipos utilizados en esta investigación.

LITERATURA CITADA

- Acosta, Y., J. Cayama, E. Gómez, N. Reyes, D. Rojas y H. García. 2006. Respiración microbiana y prueba de fitotoxicidad en el proceso de compostaje de una mezcla de residuos orgánicos. *Multiciencias* 6: 220-227.
- Almansa, M., M. Fernández, J. Valero, M. López y M. Soliva. 2007. Velocidad de mineralización del estiércol vacuno según su estabilidad. *Residuos Ganaderos*. 96: 30-36.
- Ajwa, H. A., C. J. Dell, and 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: 769-777.
- Ansorena, M., 1994. Sustratos propiedades y caracterización. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Ayuso, M., J. A. Pascual, C. Garcia, and T. Hernández. 1996. Evaluation of urban wastes for agricultural use. *Soil Sci. Plant Nutr.* 42: 105-111.
- Carmona, M., M. Aguilera, C. Pérez e I. Serey. 2006. Actividad Respiratoria en el horizonte orgánico de suelos de ecosistemas forestales del centro y sur de Chile. *Gayana Bot.* 63: 1-12.
- Contreras, F., J. Paolini y C. Rivero. 2006. Efecto de la adición de enmiendas orgánicas sobre la cinética de la mineralización del carbono en suelos del municipio Rivas Dávila, estado Mérida, Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* 31: 37-52.
- Gabriel, P., M. Loza-Murguía, F. Mamani y H. Sainz. 2011. Efecto de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) durante el composteo y vermicomposteo en predios de la Estación Experimental de la Unidad Académica Campesina Carmen Pampa. *J Selva Andina Res. Soc.* 2: 24-39.
- García, A. y C. Rivero. 2008. Evaluación del carbono microbiano y la respiración basal en respuesta a la aplicación de lodo papelero en los suelos de la Cuenca del Lago de Valencia, Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* 34: 215-229.
- García, M., M. Álvarez y E. Treto. 2002. Estudio comparativo de diferentes especies de abonos verdes y su influencia en el cultivo del maíz. *Cult. Trop.* 23: 19-30.
- Juma, N. G. 1998. The pedosphere and its dynamics: A systems approach to soil science. Quality Color. Press Inc. Edmonton, Canada.
- Havlin, J. L., J. D. Beaton, S. L. Tisdale, and W. L. Nelson. 1999. Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ, USA.
- Lerch, R. N., K. A. Barbarick, L. E. Sommers, and D. G. Westfall. 1992. Sewage sludge proteins as labile carbon and nitrogen sources. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 56: 1470-1476.
- Pérez B., P., G. Ouro, A. Merino y F. Macías. 1998. Descomposición de materia orgánica, biomasa microbiana y emisión de CO₂ en un suelo forestal bajo diferentes manejos sevicolas. *Edafología* 5: 83-93.
- Rivero, C. y E. Hernández. 2001. Efecto de la aplicación de dos tipos de compost en la evolución de CO₂ y la actividad de fosfatasa en un suelo inceptisol. *Venezuelas* 9: 24-32.
- Figueroa, U. y J. A. Cueto. 2003. Uso sustentable del suelo y abonos orgánicos, pp. 1-19. *In:* E. Salazar Sosa, M. Fortis Hernández, A. Vázquez Alarcón y C. Vázquez Vázquez (eds). *Abonos orgánicos y plasticultura*. Gómez Palacio, México.
- Sánchez, S., G. Crespo, M. Hernández y Y. García. 2008. Factores bióticos y abióticos que influyen en la descomposición de la hojarasca en pastizales. *Pastos Forrajes* 31: 99-108.
- Santibañez, C., M. T. Varnero y R. Ginocchio. 2006. Mineralización de carbono y nitrógeno en relaves mineros acondicionados con biosólidos. pp. 337-343. *In:* J. F. Gallardo L. (ed). *Medio ambiente en Iberoamerica. Visión desde la física y la química en los árboles del siglo XXI*. Tomo III. Sociedad Iberoamericana de Física y Química Ambiental. Badajoz, España.
- Spurgeon, D. J., S. P. Hopkin, and D. T. Jones. 1994. Effects of cadmium, copper, lead and zinc on growth, reproduction and survival of the earthworm *Eisenia foetida* (Savigny): Assessing the environmental impact of point-source metal contamination in terrestrial ecosystems. *Environ. Pollut.* 84: 123-130.
- Steubing, L., R. Godoy y M. Alberdi. 2001. Métodos de ecología vegetal. Universitaria. Santiago, Chile.
- Velasco, V., J. B. Figueroa, R. Ferrera, A. Trinidad y J. Gallegos. 2004. CO₂ y dinámica de poblaciones microbianas en composta de estiércol y paja con aireación. *Terra Latinoamericana* 22: 307-316.
- Walkley, A. and I. A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.