

PRODUCCIÓN DE VERMICOMPOST A BASE DE RASTROJO DE MAÍZ (*Zea mays* L.) Y ESTIÉRCOL DE BOVINO LECHERO

PRODUCTION OF VERMICOMPOST FROM MAIZE (*Zea mays* L.) STUBBLE AND MILK CATTLE MANURE

Romero-Figueroa, J.C.¹; Sánchez-Escudero, J.²; Rodríguez-Mendoza, M.N.^{1*}; Gutiérrez-Castorena, M.C.¹.

¹LPI 4. Agronegocios, Agroecoturismo y Arquitectura del paisaje. Colegio de Postgraduados, Postgrado en Edafología. *Campus* Montecillo. Montecillo, Estado de México, México. ²Colegio de Postgraduados, Postgrado en Fitosanidad. *Campus* Montecillo. Montecillo, Estado de México, México.

*Autor responsable: marinie@colpos.mx;

RESUMEN

El uso del rastrojo de maíz (*Zea mays*) y estiércol de bovino son una excelente alternativa para producir vermicompost (humus) que puede ser utilizado como biofertilizantes para los cultivos hortícolas frutales y ornamentales. Lo importante es conocer la relación C/N que tienen los materiales para calcular las proporciones de los subproductos a mezclar y obtener un material de alta calidad. El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de las relaciones Carbono Nitrógeno en las mezclas de rastrojo de maíz y estiércol en la calidad de vermicompostas.

Palabras clave: humus, composta, temperatura, nutrimentos.

ABSTRACT

The use of maize (*Zea mays*) stubble and cattle manure is an excellent alternative for the production of vermicompost (humus) that can be used as biofertilizer for fruit and ornamental horticultural crops. The important issue is to understand the C/N relationship that materials have, in order to calculate the proportions of derivatives to be mixed and to obtain a high-quality material. The aim of this study was to determine the effect of Carbon relations Mixtures of nitrogen in corn stover and manure vermicompostas quality.

Keywords: humus, compost, temperature, nutrients.



INTRODUCCIÓN

Algunos restos agrícolas se han considerado como material inutilizable y contaminantes ambientales. Dentro de estos, el rastrojo de maíz (*Zea mays*) es un subproducto que en muchas zonas se acumula y en el sector pecuario existe el gran problema del manejo inadecuado de excretas animales (Méndez *et al.*, 2009), que son consideradas como un contaminante al medio ambiente (FAO, 2002). Luévano y Velázquez (2001) reportan que los bovinos de leche producen al año 11,278.5 kg de excretas por cabeza y el uso inapropiado crea problemas; acumulación de material, olor desagradable, producción de nitratos (que son lixiviados a las aguas subterráneas) y propagación de microorganismos patógenos para el hombre (Méndez *et al.*, 2009). El rastrojo del maíz y estiércol pueden ser transformados a través del compostaje y ser una solución rentable y sencilla de llevar a cabo (Velarde *et al.*, 2004). El principal indicador para que se realice en forma eficiente es considerar la relación carbono/nitrógeno (C/N) de los materiales para hacer las mezclas, que de acuerdo con Sánchez *et al.* (2008) la relación óptima para el inicio del compostaje comprende de 25 a 35. Algunos residuos de origen vegetal como es el caso del maíz presentan valores C/N 80, y por lo tanto, requiere para su biodegradación mayor número de generaciones de microorganismos que vienen en el estiércol (McInerney y Bolger, 2000), y más tiempo para alcanzar, al final del proceso, valores C/N de 10 a 15, que es cuando el material está listo para ser usado (Atiyeh *et al.*, 2002; Domínguez y Edwards, 2010).

El proceso de compostaje se divide en cuatro fases: **mesófila**, que inicialmente ocurre durante las primeras 24-48 h, la temperatura gradualmente se eleva a 40-50 °C, los azúcares y otras sustancias fácilmente biodegradables son destruidos (Litterick *et al.*, 2004). Fase **termófila** que es cuando prevalecen temperaturas de 55-70 °C, son destruidas sustancias celulósicas menos biodegradables (Ruíz, 2011). La fase de **enfriamiento** ocurre cuando la temperatura empieza a descender (Lynch y Cherry, 1996), posteriormente, la fase de **maduración** se considera cuando la temperatura del compost se estabiliza con la del ambiente, no variando con el volteo. La lombricultura: una práctica sencilla y fácil de integrar en los sistemas agrícolas, proporciona un abono de alta calidad y rico en nutrientes. La relación C/N para el vermicompostaje deberá estar entre 20 a 25 (Sánchez *et al.*, 2008). Este material, además de ser un excelente fertilizante orgánico, contiene sustancias activas que actúan como reguladores de crecimiento para las plantas, una elevada capacidad de intercambio catiónico y alto contenido de ácidos húmicos (Hashemimajd *et al.*, 2004), además su incorporación al suelo mejora la calidad física y biológica de este. Por tal motivo, el objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de las relaciones Carbono-Nitrógeno en las mezclas de rastrojo de maíz y estiércol en la calidad de vermicompostas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales seleccionados fueron rastrojo de maíz y estiércol. Muestras de estos se enviaron al laboratorio de análisis de suelo y planta para determinación de materia orgánica y nitrógeno total. Con los valores obtenidos y formulas 1 y 2 se calculó C/N.

Fórmula No. 1;	Fórmula No. 2;
$\%C.O. = \frac{\%M.O.}{1.724}$	$C/N = \frac{\%C.O.}{\%N.T.}$
Dónde: %C.O. = % Carbono Orgánico. %M.O. = % Materia Orgánica. 1.734 = Factor de conversión.	Dónde: C/N = Relación Carbono Nitrógeno. %C.O. = % Carbono Orgánico. %N.T. = % Nitrógeno Total.

La paja de maíz contenía 80.54% de materia orgánica y el estiércol de bovino obtuvo 29%. El porcentaje de nitrógeno total fue muy similar en los dos materiales, y el porcentaje de carbono orgánico fue mayor en paja de maíz (46.72%), y mucho menor en el estiércol (16.82%) como se muestra en el Cuadro 1. Finalmente las relaciones carbono nitrógeno fueron 26.32 y 90.84 para estiércol de bovino y paja de maíz, respectivamente.

Se prepararon tres pilas de dos toneladas cada una para compost con diferentes relaciones C/N (45, 35 y 26). Para determinar los kilogramos que se tenían que añadir de estos dos elementos se observó que la cantidad de nitrógeno en los dos materiales era similar, pero la cantidad de carbono fue cuatro veces mayor en la paja de maíz que en el estiércol; por lo

Cuadro 1. Caracterización química de los dos materiales orgánicos utilizados para el proceso de compostaje.

Materiales Orgánicos	Materia orgánica	Nitrógeno Total	Carbono orgánico	Relación C/N
	%			
Estiércol de bovino*	29.0	0.639	16.82	26.32
Paja de maíz*	80.54	0.514	46.72	90.84

*En base a peso seco.

tanto a materiales que contienen mayor cantidad de carbono se le debe agregar más nitrógeno para poder balancear las cantidades y que se lleve a cabo la descomposición.

Para obtener la pila de C/N 45 se agregaron 670 kg de paja de maíz aportando 3.44 kg de N (670×0.00514) y 313.02 kg de C (670×0.4672), de estiércol se agregó 1,330 kg, que están aportando 8.50 kg N (1330×0.00639) y 223.71 kg C ($1,330 \times 0.1682$). La suma de los totales de carbono da 536.73 kg entre el total de N (11.94 kg) da como resultado una rel C/N 45.

Para una relación C/N 35 se tiene que agregar 320 kilogramos de paja de maíz que aportan 1.64 kg N (320×0.00514) y 149.50 kg C (320×0.4672), y 1,680 kg de estiércol que está aportando 10.74 kg N (1680×0.00639) y 282.58 kg C (1330×0.1682). Se suman los kilogramos de C de los dos materiales (432.08 kg de C) y se divide entre el total de nitrógeno (12.38 kg de N) $432.08/12.38$ obteniendo así una relación C/N 35.

En la relación C/N 26 se utilizó únicamente dos toneladas de estiércol, ya que los análisis indicaron una relación de 26.32. Los materiales orgánicos se pesaron con ayuda de una báscula, y se mezclaron; se formó una pila de 4.5 m de largo, 2 m de ancho y 1.50 m de altura; se añadieron 120 litros de agua para humedecer el material. La aireación de las pilas se realizó mediante volteos. Con un termómetro con carátula tipo vástago de 80 cm se monitoreó la temperatura, colocado a una profundidad de 70 cm, tomando como base 12 puntos alrededor de la composta, con la finalidad de registrar la fluctuación térmica de las pilas y determinar su estabilidad apropiada (Figura 2). Cuando no se tiene termómetro, se puede valorar a "tacto", abriendo un pequeño orificio e introduciendo por unos minutos una varilla o machete, o bien se puede verificar visualmente el des-

prendimiento de humo desde ese hueco en la pila de composta (Figura 3).

Después de 93 días de compostaje, la temperatura se estabilizó en las pilas a 28 °C y fue el momento en que se inició el vermicompostaje.

En el proceso de vermicompostaje se utilizaron alrededor de 25,000 lombrices de la especie *Eisenia fetida*, para tres camas, y se alimentaron con el compost. Las camas en esta etapa fueron de base de cemento y con ladrillos alrededor y una capa de plástico con dimensiones de 4.20 m de largo, 1.50 m de ancho y altura de 60 cm. En cada una de ellas se colocó una capa de 10 cm de altura de compost y se inoculó con lombrices, añadiendo agua para mantener una humedad de 70% a 80%. Cuando no se cuenta con ningún instrumento para medir la humedad del material, se realiza la prueba del "puño", que consiste en tomar un poco del material



Figura 1. A: Rastrojo de maíz (*Zea mays*). B: Estiércol de ganado bovino lechero para composteo.



Figura 2. Actividades realizadas durante el proceso de compostaje.

y hacer presión hasta observar que estén cayendo unas cuantas gotas. Las camas se cubrieron con cartones, y se monitoreó diario el consumo del compost por la lombriz, la concentración de excrementos de la lombriz en la parte superficial fue el criterio utilizado para agregar otra capa de alimento (compost), hasta completar cuatro capas (Figura 4).

Al igual que en la etapa de compostaje, se monitoreó la temperatura durante 97 días en cada una de las tres camas de vermicompostaje. La toma de las temperaturas en los dos procesos, se efectuó diariamente a las 7 a.m. Los efluentes o lixiviados que se producían durante el proceso de vermicompostaje se reincorporaban a la semana en las camas respectivas, tres



Figura 3. Liberación de humo de la composta durante la biodigestión.

semanas antes de la cosecha del vermicompost se colectaron los efluentes y se almacenaron en garrafones de 20 litros de capacidad.

Después de 97 días se cosechó la lombriz y al vermicompost obtenido se le determinó la relación C/N, pH, C.E., M.O. Nitrógeno, Fósforo, así como Cationes Solubles (K^+ , Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++}).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Relación C/N 45. En la etapa de compostaje los 10 primeros días se registraron temperaturas de hasta 70 °C. A los 40 días del proceso de compostaje se presentaron temperaturas mayores a 50 °C, obteniendo en promedio 63.5 °C. De los 40 a 55 días, la temperatura bajó por las condiciones del tiempo climático, y 10 días después ocurrió un repunte de la temperatura, los volteos favorecieron este incremento (Figura 5). En el vermicompostaje primer día la temperatura fue de 20.8 °C y es hasta los 55 días cuando se incrementó a 28 °C y se mantuvo constante hasta el final. Durante 93 días se estuvo monitoreando a la lombriz con la idea de mantener siempre suficiente compost para su consumo. Al final del periodo se obtuvo un material sin olor, de color estable y tamaño de partícula pequeño listo para ser utilizado como fertilizante en cultivos de cualquier índole.

Relación C/N 35. En esta pila se registró a los 10 días la temperatura más alta de 65 °C y durante los 93 días una temperatura promedio de 47.8 °C (Figura 6). Al igual que en el compost de la relación C/N 45, durante los 35 días se registraron temperaturas mayores a 50 °C, obteniendo en promedio para este lapso de tiempo 58.1 °C. En esta pila



Figura 4. Actividades realizadas durante el proceso de vermicompostaje.

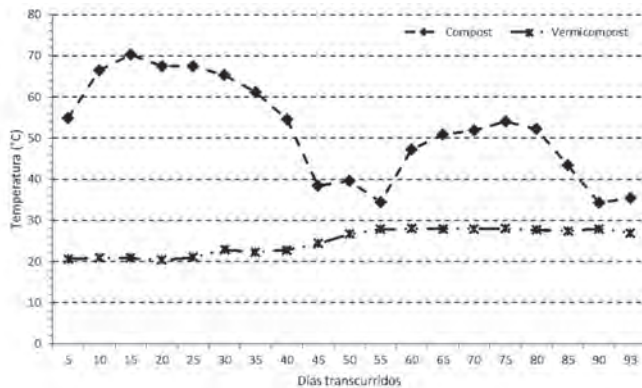


Figura 5. Temperaturas registradas durante los procesos de compostaje y lombricompostaje en la relación C/N 45 inicial.

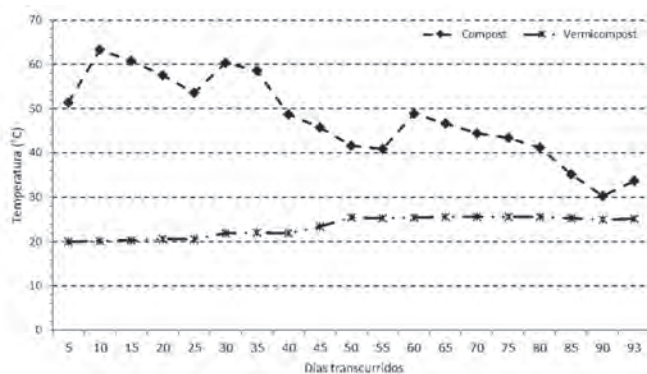


Figura 6. Temperaturas registradas durante los procesos de compostaje y lombricompostaje en la relación C/N 35 inicial.

no se presentaron las temperaturas tan altas como en la relación C/N 45. En el vermicompostaje de esta relación al igual que en las otras dos camas el consumo por parte de las lombrices se observó hasta los 38 días después de agregada la lombriz, observando que estas se encontraban en la superficie de la pila y se procedió a agregar una capa más de compost. La temperatura promedio en el vermicompostaje de esta relación fue 23.2 °C.

Relación C/N 26. En esta pila, a los cinco primeros días se registró una temperatura de 54.5 °C y fue hasta los 30 días que se alcanzó la temperatura más alta (Figura 7), este intervalo fue muy corto a diferencia de las otras dos relaciones. La temperatura promedio durante todo el proceso fue de 46.8 °C, lo cual permite destruir o eliminar organismos patógenos para el ser humano (FAO, 2002), y obtener un producto más homogéneo, libre de patógenos y semillas de malezas. En los primeros días del proceso de compostaje se presentaron con mayor intensidad olores fétidos y procesos de putrefacción por excesos de humedad. Al respecto, el compost fue aireado mediante volteos, pero no de manera sistemática ya que dependieron de la evolución de la temperatura, además no es conveniente demasiada aireación, ya que puede enfriar la pila y desecarla.

En la fase de enfriamiento y la maduración los olores presentes desaparecieron conforme la temperatura descendió y se presentó un olor a suelo húmedo ("tierra mojada"), además, se observó cómo el tamaño tanto de los materiales originales como de las compostas iban haciéndose más pequeñas, y el color a los 93 días cambió a un

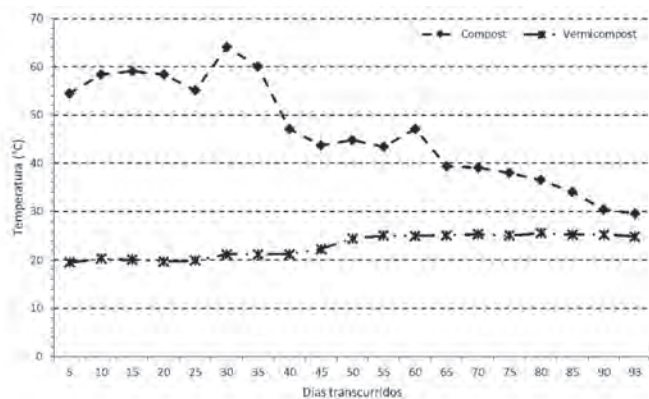


Figura 7. Temperaturas registradas durante los procesos de compostaje y lombricompostaje en la relación C/N 26 inicial.

color café oscuro y la textura fue más suave y manejable. Los sistemas para la producción de compost a la intemperie, permiten reducir costos de infraestructura, sin embargo, se corre el riesgo en los meses donde hace mucho calor y a las pilas les podrá hacer falta humedad (Ruiz, 2011). Por otro lado, también están los meses de lluvia, donde se tendrían problemas de exceso de humedad y principalmente falta de oxígeno. En el vermicompost, los organismos adultos (lombrices) consumen una ración diaria de alimento equivalente a su propio peso, de la cual 55% se traduce en abono (Ferruzi, 1994); sin embargo, tienen la peculiaridad de no ingerir alimentos que ya fueron excretados por ellas mismas. En consecuencia, siempre requieren de alimento fresco, ya que si no lo tienen salen en busca de él. Lo anterior se pudo corroborar a los ocho días después de haber incorporado la tercera capa de vermicompost (46 días después de iniciada), las lombrices



Figura 8. Presencia de lombrices (*Eisenia fétida*) en la parte superficial de la cama.

ces se encontraban en la superficie, por lo tanto, se incorporó el total de material del compost. Las compostas realizadas a la intemperie pueden contaminarse con objetos que no son fácilmente degradables, tales como plásticos, vidrio, piedras, etcétera; por lo tanto, al colocar a las lombrices el material deberá estar limpio de dichas impurezas.

Cosecha de humus de lombriz o vermicompost. Se efectuó a los 93 días después de haber incorporado la primera capa de compost, se observó cómo el material cambió de un color café oscuro (inicio) a un color negro (final) y el olor fue semejante al del suelo de un bosque. En estas condiciones se observó la presencia de las lombrices en la parte superficial (Figura 8), lo que indica la necesidad de otra capa de alimento.

La recolección de material ya procesado por las lombrices se efectuó colocando en uno de los extremos de la cama una capa de estiércol con el propósito de atraer a las lombrices para que ahí se concentraran, y así, facilitar la cosecha del material. Una vez cosechado el humus se procedió a realizar el análisis químico y se registró que los materiales que al inicio del proceso de compostaje tenían C/N 45, 35 y 26, habían quedado con C/N 21, 27 y 13 respectivamente. Zmora-Nahum *et al.* (2005) mencionan que la disminución del carbono orgánico es representativo del proceso de compostaje y que la disminución del carbono orgánico beneficia el incremento de la concentración de nitrógeno con respecto a otras acciones. El vermicompost con C/N 13 registró un pH de 8.8, mientras en los otros dos vermicompost fue de 8.6 (Cuadro 2); al respecto, Lee *et al.* (2002) mencionan que el pH es un indicador del grado de humificación de la materia orgánica y por lo tanto de su madurez. El mayor porcentaje de materia orgánica se presentó en el vermicompost C/N 21 (17.6%), mientras que en los otros vermicompost fue de 27 y 13, registrando disminución del 10.8 y 18.2% respectivamente. El mayor contenido de nitrógeno y fósforo se registró en el vermicompost C/N 13 (0.625% y 988 mg kg⁻¹). El nitrógeno y el fósforo se encuentran en los estiércoles como material orgánico y requiere de una mineralización previa que puede durar semanas hasta meses para estar disponible a las plantas (Bayon y Binet, 2006; Castro *et al.*, 2009).

Finalmente, en los cationes solubles la relación C/N 13 presentó los valores más altos de los iones. Domínguez *et al.* (2010) mencionan que la inoculación de las

Cuadro 2. Análisis químico de los vermicompost generado a partir de la relación C/N inicial.

Inicial C/N	V C/N*	pH	M. O.	N	P ppm	Cationes Solubles (ppm)			
			%			K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
45	21	8.6	17.6	0.482	740.91	105.64	47.17	97.23	13.06
35	27	8.6	15.7	0.339	886.69	114.61	47.71	89.15	12.58
26	13	8.8	14.4	0.625	988.74	132.55	51.50	104.03	24.86

V C/N*=vermicompost de relación C/N final, generada a partir de C/N inicial; M.O.=Materia Orgánica; N=Nitrógeno; P=Fósforo; K⁺=Potasio; Na⁺=Sodio; Ca⁺⁺=Calcio; Mg⁺⁺=Magnesio.

lombrices a materiales orgánicos favorece el incremento en la concentración de minerales (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺ y K⁺), además en la disminución en el contenido de la materia orgánica, y la transformación de N-orgánico a N-mineral, facilitando así su asimilación por las plantas. El vermicompost por sus características físicas, químicas y biológicas, se ha utilizado como fertilizante orgánico, teniendo un potencial comercial muy grande en la industria hortícola como medio de crecimiento para los almácigos y las plantas (Figura 9). Sánchez *et al.* (2006) mencionan, que la calidad de los estiércoles son muy heterogéneos debido a la influencia del grado en el que se colecta el material, tipo del ganado del que provienen, así como, de la alimentación que se les da a los animales y las mezclas de las deyecciones del animal.

La calidad del producto final del vermicompost va a depender en gran medida de los factores de manejo pecuario, agrícola, ambiental y la tecnología empleada para la elaboración del humus de lombriz.

CONCLUSIONES

Existen diferencias en la temperatura máxima presentada en el proceso del compostaje en función de la relación C/N. La relación C/N inicial en el proceso de compostaje y vermicompostaje influye en la velocidad de degradación y mineralización de la materia orgánica y disponibilidad nutrimental. El vermicompost con relación C/N 13 presentó los valores más altos de concentración nutrimental, siendo esta una buena opción para utilizarla en la producción de cultivos hortícolas y ornamentales.

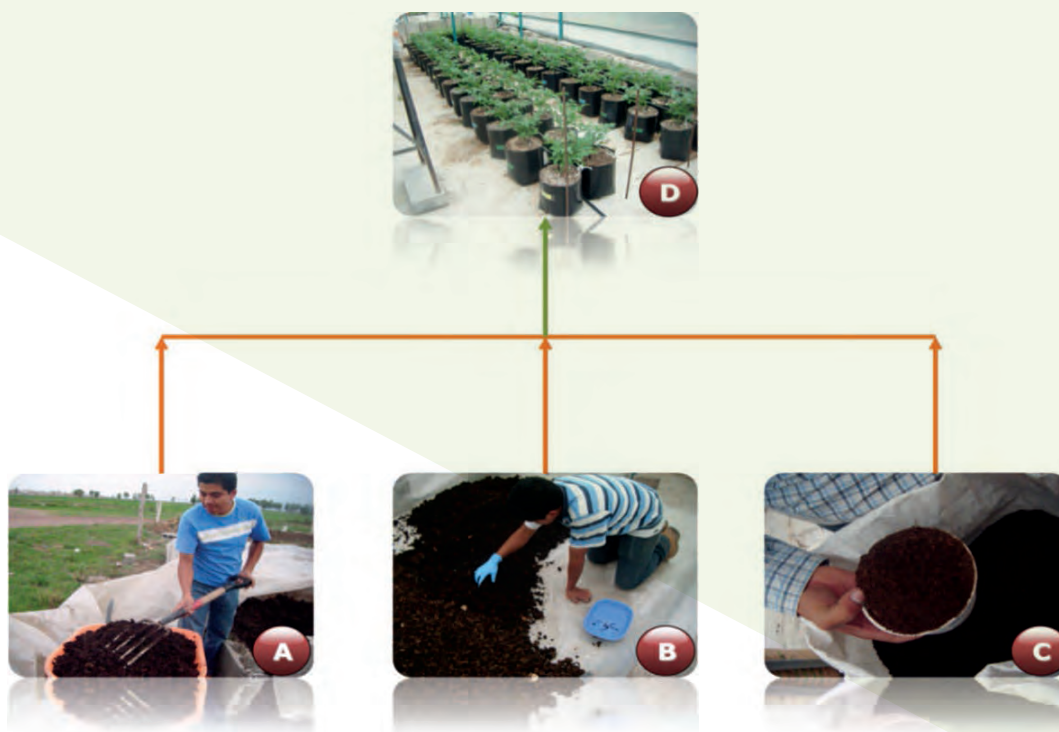


Figura 9. A) Cosecha del humus de lombriz. B) Secado del humus a la sombra. C) Embolsado del vermicompost. D) Vermicompost listo para la producción de plantas.

LITERATURA CITADA

- Atiyeh R. M., Lee S., Edwards C.A., Arancon N.Q., Metzger J.D. 2002. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresource Technology* 84: 7-14.
- Castro A., Henríquez C., Bertsch F. 2009. Capacidad de suministro de N, P y K de cuatro abonos orgánicos. *Agronomía Costarricense* 33 (1): 31-43.
- Domínguez J., Edwards C.A. 2010. Relationships between composting and vermicomposting. *In: Edwars C. A., N. Q. Arancon and R. Sherman (Eds.). Vermiculture Technology Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management. USA. pp. 12-13.*
- FAO. 2002. Integración por zonas de la ganadería y de la agricultura especializada (AWI): opciones para el manejo de efluentes de granjas porcícolas de la zona centro de México. pp. 253.
- Ferruzi C. 1994. *Manual de Lombricultura*. Traducción de C. Buxade. Editorial mundi-prensa. Madrid, España. 138 p.
- Hashemimajd K., Kalbasi M., Golchin A., Shariatmadari H. 2004. Comparison of vermicompost and compost as potting media for growth of tomatoes. *Journal of Plant Nutrition* 27: 1107-1123.
- Le Bayon R. C., Binet F. 2006. Earthworms change the distribution and availability of phosphorous in organic substrates. *Soil Biology & Biochemistry* 38: 235-246.
- Lee B.I., Kim J.P., Chang W.K. 2002. Evaluation of stability of compost prepared with Korean food wastes. *Soil Science and Plant Nutrition* 48: 1-8.
- Litterick A.M., Harrier L., Wallace P., Watson C.A., Wood M. 2004. The role of uncomposted materials, composts, manures and compost extracts in reducing pest and disease incidence and severity in sustainable temperate agricultural and horticultural crop production – a review. *Critical Reviews in Plant Sciences* 23: 453-479.
- Lynch N.J., Cherry R. S. 1996. Winter composting using the passively aerated windrow system. *Compost Science and Utilization* 4 (3): 44-52.
- Luévano G.A., Velázquez N.E.G. 2001. Ejemplo singular en los agronegocios estiércol vacuno: de problema ambiental a excelentes recurso 5: 306-318.
- McInerney M., Bolger T. 2000. Decomposition of *Quercus petraea* litter: influence of burial, comminution and earthworms. *Soil Biology and Biochemistry* 32: 1989-2000.
- Méndez N.R., Castillo B.E., Vázquez B.E., Briceño P.O., Coronado P.V., Canul P.R., Garrido V.P. 2009. Estimación del potencial contaminante de las granjas porcinas y avícolas del estado de Yucatán. *Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY*. pp: 13-21.
- Ruiz F.J.F. 2011. *Ingeniería del compostaje*. Primera reimpresión. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México.
- Sánchez H.R., Ordaz Ch.V.M., Palma L D.J., Sánchez B.J. 2006. El vermicompostaje: elemento útil en la agricultura sustentable. Primera Edición. Fundación Produce Tabasco A. C. Colegio de Postgraduados. Campus Tabasco. pp: 3-24.
- Sánchez E.J., Rodríguez M.M.N., Sánchez R.C.V., Fernández L.F. 2008. *Abonos orgánicos*. Ediciones Papiro Omega. México, D. F. 139 p.
- Velarde S.E., de León O.M.E., Cuéllar A.I.A., Villegas D.R. 2004. *Producción y aplicación de compost*. Primera Edición. Producciones gráficas del Minrex. La Habana, Cuba. pp: 13-23.
- Zmora-Nahum S., Markovitch O., Tarchitzky J., Chena Y. 2005. Dissolved organic carbon (DOC) as a parameter of compost maturity. *Soil Biology and Biochemistry* 37: 2109-2116.

