

Nota técnica

PRECOMPOSTEO DE RESIDUOS ORGÁNICOS Y SU EFECTO EN LA DINÁMICA POBLACIONAL DE *Eisenia foetida*¹

Carlos Manuel Acosta-Durán^{2/*}, Ofelia Solís-Pérez^{**},
Oscar Gabriel Villegas-Torres^{*}, Lina Cardoso-Vigueros^{***}

Palabras clave: Residuos orgánicos, *Eisenia foetida* spp., precompostaje, vermicomposta.

Keywords: Organic waste, market, *Eisenia foetida* spp., precomposting, vermicompost.

Recibido: 17/08/12

Aceptado: 10/12/12

RESUMEN

El compostaje y el vermicompostaje son técnicas que se utilizan para transformar los residuos sólidos orgánicos en abonos orgánicos (composta y vermicomposta, respectivamente) cuyas características físicas, químicas y biológicas inciden directamente en el mejoramiento del suelo y en el crecimiento de las plantas; sin embargo, durante el proceso, se liberan desechos que agreden al ambiente. El sustrato utilizado para alimentar a las lombrices debe pasar por un periodo previo de compostaje, conocido como precompostaje. El vermicompostaje produce un material en el que la mayoría de los nutrientes se encuentran en mayor disponibilidad para la planta, comparados con el material resultante de un proceso de compostaje convencional. El precompostaje involucra un mayor tiempo y gasto de insumos, lo que puede incrementar el costo de la vermicomposta, por lo que es necesario establecer el tiempo necesario de precompostaje para que los residuos orgánicos puedan emplearse como sustrato en la producción de la lombriz *Eisenia* spp. Para la obtención de vermicomposta, los residuos se sometieron a un proceso de precompostaje de 0 a 8 semanas antes del proceso de vermicompostaje. Se concluyó que

ABSTRACT

Precomposting of organic residues and its effect in the population dynamics of *Eisenia foetida*. Composting and vermicomposting are processes used to transform organic solid residues into fertilizers (compost and vermicompost, respectively). The physical, chemical and biological properties of vermicompost result in improvement of soil fertility and growth of plants. However, both, throughout the process, release toxic substances to the environment. The vermicomposting process tends to result in higher levels of plant availability of most nutrients, as compared with a process of conventional composting. The substrate used to feed the worms must undergo a prior period of precomposting, which involves more time and cost of inputs, which increases the cost of vermicompost obtained, so it is necessary to establish minimum composting time as well as strategies to reduce this period, so that the organic residues can be used as a substrate in the production of the earthworm *Eisenia* spp. A precomposting process from 0 to 8 weeks, before the vermicomposting process, was evaluated. It was concluded that the conditions under which the experiment took place

1 Parte del trabajo de tesis del segundo autor para obtener el grado de Maestro en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural por la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México.

2 Autor para correspondencia. Correo electrónico: acosta_duran@yahoo.com.mx

* Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México.

** Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México.

*** Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México.

las condiciones en las que se desarrolló el experimento permitieron el desarrollo de las lombrices en todos los periodos de precompostaje. El vermicompostaje en capas reduce significativamente el tiempo del proceso para lograr la completa descomposición de los residuos orgánicos. Para la presencia de cocones y juveniles no es necesario el precomposteo. En general el precomposteo de 0 a 2 semanas favorece la reproducción y el de 3 a 7 semanas favorece el crecimiento individual de las lombrices. El mejor tratamiento fue el precomposteo de 2 semanas, debido a que favorece la reproducción y el aumento del peso promedio de la lombriz. El precompostaje no es necesario cuando las pilas de vermicomposteo tienen menos de 50 cm de altura, al producir vermicomposta en 30 días.

INTRODUCCIÓN

La generación de residuos sólidos orgánicos en las actividades urbanas, agropecuarias e industriales, está estrechamente relacionado con el modelo productivo actual y representa una de las principales formas de deterioro del medio ambiente al no existir un aprovechamiento racional o un reciclaje sistemático de los mismos (Moreno 2005).

En años recientes se han desarrollado algunos métodos para el manejo y transformación de desechos encaminados no solo a disminuir el problema de contaminación ambiental, sino a la obtención de abonos orgánicos, cuyas características físicas, químicas y biológicas incidan directamente en el mejoramiento del suelo y el crecimiento de las plantas.

El proceso de compostaje consiste en la descomposición de desechos orgánicos por la acción de microorganismos (bacterias, hongos y actinomicetos) bajo condiciones aeróbicas controladas, hasta la obtención de un producto final homogéneo, apto para utilizarse como fertilizante, denominado composta. Los factores

allowed the development of the worms in all periods of precomposting. Vermicomposting in layers significantly reduces the processing time to achieve complete decomposition of organic residues. For the presence of cocoons and juvenile forms, precomposting is not necessary. Overall, precomposting from 0 to 2 weeks promotes reproduction and precomposting from 3 to 7 weeks promotes individual growth of earthworms. The best treatment was precomposting of 2 weeks, because it facilitates reproduction and average weight gain of the worm. Precomposting is not necessary when vermicomposting piles are less than 50 cm in height, producing vermicompost in 30 days.

claves para este proceso son: humedad (55-60%), temperatura (>55°C, para eliminar o disminuir la presencia de organismos indeseables), aireación y oxígeno (volteos periódicos o inyección de aire en la pila de fermentación), relación carbono/nitrógeno (C/N: 25-35/1), porosidad y tamaño de partícula (entre 1 y 5 cm) y pH (5,5 y 8,5) (Cabildo et ál. 2008). Por otro lado, el vermicompostaje consiste en combinar la digestión aeróbica y la transformación de los materiales orgánicos mediante la acción de las lombrices composteadoras. El producto final de este proceso es conocido como vermicomposta o humus de lombriz. Es un sustrato estable, uniforme, con una excelente estructura física, porosidad, aireación, drenaje, contenido nutrimental y capacidad de retención de humedad (Lara y Quintero 2006).

Según Bollo (2001) la adaptabilidad, el estado y la multiplicación de las diferentes especies de lombriz, se ven afectados directamente por las características del sustrato o material de crecimiento, mismo que debe pasar por un periodo previo de maduración para que se desarrollen los microorganismos que integran la dieta de las lombrices, ya que éstas son micrófagas (Schuldt

2004). Se cree que la inoculación de las lombrices es posible después de que los compuestos orgánicos han sido composteados previamente y que haya sido superada la etapa termófila, de no ser así las temperaturas que se presentan pueden provocar mortalidad en las lombrices (Hernández 1996). Los residuos precomposteados podrían ser más aceptables y causar menos mortalidad a las lombrices, debido a que pueden contener menos componentes potencialmente tóxicos tales como amonio o sales en los estiércoles animales, o taninos y ácidos en desechos verdes. El precompostaje agrega algo más de tiempo al proceso pero podría salvaguardar el crecimiento y sobrevivencia de las lombrices, no obstante, este proceso podría decrecer la cantidad de alimento disponible para el crecimiento y reproducción de *Eisenia foetida* (Gunadi et ál. 2002). Cuando la materia orgánica se coloca en pilas bajas (30–50 cm de altura), no se producen elevaciones térmicas y se asegura una buena aireación del sustrato (Schuldt et ál. 2009).

Los materiales organodomésticos deben mantenerse en precomposteo por lo menos entre 45 y 60 días antes de introducir a las lombrices; además se debe considerar que el material no tenga zonas blanquecinas que indiquen la pérdida de proteína, registren temperaturas entre 18 y 25°C y la relación C/N este entre 25/1 y 40/1 (Oliver et ál. 2003, Schuldt 2004, 2007). Por otro lado en el caso de los estiércoles, se mencionan periodos de madurez de 6 meses para el vacuno y de 12 a 16 para el de aves (Hernández 2006), 30 a 45 días para el estiércol de conejo, caballo o vaca y de 60 a 120 días, para los de aves y cerdos (Schuldt 2004, 2007).

Para favorecer el desarrollo óptimo de las lombrices en el sustrato, la temperatura debe mantenerse entre 20 y 25°C, la humedad de 60 a 95% el pH entre 6,5 y 8,0 y la conductividad eléctrica menor de 2 dS/m (Schuldt 2004, Lara y Quintero 2006).

Hernández (1996), estableció unidades procesadoras de basura construidas con bloque de hormigón y cemento, donde colocó desechos de frutas y hortalizas provenientes de una central

de abasto en Puebla, México, e inoculó lombrices de la especie *E. foetida* 80 días después de que el material fuera dispuesto en estas unidades; y reportó que 100 días después, las lombrices alcanzaron su máxima población.

Castillo et ál. (2000) en Argentina, realizaron la caracterización fisicoquímica y el rendimiento de vermicomposta obtenida a partir de desechos domiciliarios, exclusivamente de cocina, comparado con estiércol vacuno. Estos materiales se trituraron y se sometieron a 90 días de compostaje y luego se incorporaron núcleos de 250 lombrices de *E. foetida* en cada recipiente. El lombricompost obtenido a partir del estiércol presentó los valores más altos de N y P y el mejor rendimiento al tamizado; los niveles de K y pH más altos correspondieron a los obtenidos de los desechos domiciliarios solos y combinados con estiércol.

Durán y Henríquez (2009), evaluaron el crecimiento, reproducción y adaptación de la lombriz *E. foetida* en 5 sustratos orgánicos: estiércol vacuno, broza de café, residuos de banana, restos de follaje de ornamentales y residuos de origen doméstico, los cuales fueron precomposteados por 2-3 semanas antes de colocar las lombrices. Para ello registraron el peso a los 45 y a los 90 días. La reproducción y sobrevivencia al final del experimento fue diferente en cada uno de los sustratos utilizados y fue el de broza, el que presentó los mayores valores en la población final y el doméstico el de los menores; por lo que concluyen que tanto el crecimiento de los individuos como su tasa de reproducción son influenciados por el tipo de sustrato.

Por otra parte, si se considera que para procesar un desecho orgánico con lombrices, éste debe estabilizarse por medio de un proceso de compostaje para obtener las características físico químicas aceptables, podría sugerirse que ya no es necesario aplicar la lombriz, lo cual involucra un mayor tiempo y gasto de insumos (García 2006); por lo que acortar el periodo de compostaje previo tiene la ventaja de mantener elevado el carbono lábil, lo que posiblemente favorece las posibilidades de desarrollo de las poblaciones

de *Eisenia* spp., cuya ingesta se relaciona con los microorganismos del ciclo del carbono, y evita para las lombrices, un medio de avanzada estabilización del carbono, como ocurre cuando el compostaje se aproxima a su fin y las relaciones C/N tienden a 10/1 (Schuldt 2009).

El objetivo del presente trabajo fue establecer el tiempo de precompostaje para el desarrollo adecuado de poblaciones de *Eisenia* spp., y la producción de vermicomposta, al considerar hipotéticamente que 2 semanas de precompostaje son suficientes para que los residuos sólidos orgánicos del mercado puedan emplearse como sustrato en la producción de lombriz y de abono orgánico de calidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el Campo Experimental de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, el cual se localiza geográficamente a los 99°15'75" LN y 18°58'49" LO, a 1850 msnm, con un tipo de clima semicálido subhúmedo clasificado por Köppen como A(C)w1"(w)ig. La temperatura media anual es de 22°C con marcha de tipo Ganges (García 1981). Se utilizó un invernadero tipo túnel con cubierta y suelo cubiertos de plástico.

“Pie de cría”

Para disponer de una población de lombrices homogénea y constante para las pruebas

requeridas, se acondicionó como “lecho” un recipiente de fibra de vidrio de 1,50 m (largo) x 1,50 m (ancho) x 0,37 m (altura), con orificios en el fondo para evitar la acumulación de agua. Como sustrato se utilizó estiércol de borrego mezclado con compost maduro proveniente de residuos organodomésticos. Se colocaron sobrepuestas y de manera alterna 4 capas de 5 cm cada una, 2 del compost y 2 del estiércol, con riego uniforme en cada capa. Posteriormente, se inocularon 1000 lombrices adultas y para la reproducción, se adoptó la modalidad de alimentación sucesiva en capas (Schuldt 2004), que consistió en colocar una capa de aproximadamente 10 cm de estiércol maduro de borrego cada semana durante 4 semanas, con altura del lecho entre 40–50 cm (Lara y Quintero 2006). Durante esta etapa se efectuaron 2 riegos semanales y se registró la temperatura y el pH una vez por semana. Al término de este periodo se realizó un muestreo para conocer la densidad de lombrices en el lecho, para lo que se utilizó como muestreador un recipiente de PET, abierto en ambos extremos, de 20 cm de largo y 12 cm de diámetro, el cual se introdujo hasta el fondo del lecho en 5 puntos elegidos al azar. El contenido fue vaciado y se procedió a separar y contar a simple vista: número de cocones, juveniles, subadultos y adultos. Para el cálculo de lombrices/lecho se tomaron en cuenta el volumen del extractor y el volumen del lecho mediante la ecuación (Schuldt et ál. 1998):

$$\text{Número de lombrices por lecho} = \frac{\text{Número de lombrices} \times \text{volumen del lecho (m}^3\text{)}}{\text{Volumen del extractor de la muestra (m}^3\text{)}}$$

A partir de la inseminación, se mantuvo la secuencia de alimentación durante 4 meses más (Schuldt 2004). La alimentación consistió en la mezcla en partes iguales de estiércol maduro de borrego con residuos organodomésticos frescos. Al final del periodo, el recipiente quedó

lleno, y en la superficie de la capa se colocó una cobertura de hojarasca y se regó uniformemente. Este procedimiento se realizó con lombrices que debían tener alimento suficiente para 2 meses, ya que éstas, se utilizaron como “pie de cría” durante todas las etapas del experimento.

“Pila baja” para precomposteo

Se elaboró una pila baja con residuos orgánicos frescos procedentes del mercado municipal. El material se cortó con machete, hasta tener una mezcla más o menos homogénea de trozos de 5-10 cm. Los componentes y proporciones en peso fresco fueron: Hojas de hortalizas (32,0%), nopal (20,0%), tomate verde (10,0%), mandarina (7,4%), jitomate (4,0%), chile (3,5%) cebolla (2,5%), plátano (1,0%), tejocote (0,7%) y otros (18,9%). La pila alcanzó una altura de 50 cm aproximadamente y se cubrió con 25 kg de tierra de banco, para evitar las moscas y controlar los olores. La pila se regó uniformemente con 20 l de agua después de cubrirla con la capa de tierra. Posteriormente, se regó 2 veces por semana y se alternó un riego con 12 l y otro con 20 ó 30 l según se requería durante el volteo semanal. Se registró la temperatura para lo cual se eligieron 5 puntos en la pila al inicio y antes de cada volteo. Para registrar el pH se utilizó un potenciómetro para sustratos, y se introdujo el electrodo en 5 puntos distintos de la pila antes de cada volteo.

De esta pila se tomaron semanalmente durante las 9 semanas, las cantidades necesarias de residuos orgánicos para los contenedores de vermicompostaje en capas.

Vermicompostaje “en capas”

El proceso de vermicompostaje se llevó a cabo en contenedores cuadrangulares de plástico de 31 cm por lado y 19 cm de profundidad, con 10,41 l de capacidad y con orificios en el fondo. En cada contenedor se colocaron los materiales en capas y se registró la altura de cada material, de la siguiente manera: 1 kg de tierra de banco (5 cm), 1 kg de vermicomposta (3 cm), 2 kg de material precompostado proveniente de la “pila baja” (8 cm) y 1 kg de la misma tierra de banco (4 cm). Los tratamientos consistieron en las semanas de precomposteo del material orgánico y se identificaron como: SSPC, 1SPC, 2SPC, 3SPC, 4SPC, 5SPC, 6SPC, 7SPC y 8SPC, donde SSPC indica sin precomposteo y en el resto de los tratamientos el número indica las semanas de precomposteo de

1 a 8. En el primer tratamiento, que correspondió a sin precomposteo, solo se colocó 1 kg de residuos, debido al volumen que ocuparon en el contenedor en esta etapa. Posteriormente se introdujeron 200 lombrices adultas, provenientes del pie de cría. De igual forma al colocar las capas de residuos y de tierra se aplicaron riegos ligeros en cada una.

Este procedimiento se realizó cada semana, durante 8 semanas y se colocó el tratamiento correspondiente de material precompostado.

Una vez dispuestos los materiales en los contenedores se efectuaron riegos con 500 ml de agua 2 veces por semana; suspendiéndose una semana antes del conteo de las lombrices. La temperatura se tomó en la parte central del recipiente una vez por semana antes del riego y se introdujo el termómetro de bayoneta hasta casi tocar el fondo. Para el pH, se introdujo el electrodo del potenciómetro para sustratos en la parte central del recipiente antes del riego.

Densidad poblacional

A los 30 días después de la inoculación con las lombrices, se quitó la capa superior de suelo y tamizó el material de la parte media del contenedor a 0,5 cm de abertura de malla, en donde se separaron las lombrices adultas, se cuantificaron y se pesaron. La vermicomposta resultante se colocó en contenedores de plástico que se colocaron en un lugar sombreado por 4 días, al término de los cuales se tamizó nuevamente, ahora en una malla de 0,25 cm de abertura, para obtener un tamaño de partícula más pequeño y realizar el conteo de cocones y juveniles.

Diseño experimental

Los resultados se analizaron con un diseño completamente al azar de 9 tratamientos con 4 repeticiones. La unidad experimental fue de un contenedor con material para vermicomposteo y 200 lombrices adultas. La primera semana se colocaron 4 contenedores correspondientes a las repeticiones del tratamiento SSPC y sucesivamente se colocaron 4 contenedores semanales

correspondientes a cada uno de los tratamientos durante 8 semanas hasta un total de 36 unidades experimentales. Los datos se tomaron en cada tratamiento a los 30 días después de la inoculación de las lombrices y se les aplicó análisis de varianza. Las medias se separaron con la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pie de cría

La temperatura y el pH del sustrato registrado al inicio fueron de 27°C y 7,0, respectivamente. La temperatura máxima alcanzada durante el proceso fue de 28°C. Legall et ál. (2002), mencionan que el estiércol maduro es el sustrato adecuado para la crianza de lombrices, ya que presenta condiciones óptimas de pH (7,0 a 8,0), aunque a veces sea necesario agregar agua para estabilizar la humedad y la temperatura, condiciones que se obtuvieron con los riegos diarios durante una semana.

Schuldt et ál. (2005), mencionan que en el caso de los estiércoles, se puede anticipar un rechazo como alimento debido a la presencia de olores amoniacales, en este caso no se percibieron, sin embargo, se consideró que la composta pudiera servir de refugio a las lombrices en caso de que las condiciones en las capas de estiércol no fueran las adecuadas. Por otra parte, los animales grandes suelen ser menos adaptables que los jóvenes (Schuldt 2004), sin embargo, a la semana de haber sido inoculadas las lombrices se observó en la superficie la presencia de cocones, lo que indicó que el sustrato empleado como alimento reunía las condiciones óptimas para el desarrollo de las mismas.

Las temperaturas registradas cuando se agregaron las mezclas de organodomésticos frescos y precomposteados fluctuaron entre 24 y 28°C, para alcanzar un máximo de 32°C y posteriormente disminuirla hasta 24°C, valores que se encuentran dentro del rango óptimo y tolerable por la lombriz.

Los resultados obtenidos del muestreo para densidad de lombrices en el lecho mostraron un incremento de 87,16% sobre la población original; además se encontraron: 23 694,69 subadultos/lecho; 14 495,57 juveniles/lecho; y 25 207,96 cocones; por lo que se concluye que la metodología para la cría de lombrices fue adecuada.

Pila baja

Las temperaturas registradas en la pila baja al inicio fueron de 37°C y 28,4°C en la superficie y en el fondo, respectivamente, ésta diferencia pudo haber sido por la capa de tierra que se colocó una vez que los residuos fueron apilados. A partir de la semana 2 de compostaje no se registraron incrementos considerables de temperatura (Figura 1). Las variaciones pudieron deberse a que cuando se efectuaban los volteos y los riegos se mejoraban las condiciones de oxígeno y humedad para que los microorganismos del suelo sigan con el proceso de descomposición. La temperatura final fue de 18,2°C. En cuanto a la descomposición de los materiales ésta no ocurrió por completo. Por otra parte, aun cuando son materiales con un gran porcentaje de humedad la presencia del suelo provocó que se tuvieran que efectuar 2 riegos por semana.

Al comparar las temperaturas registradas en la pila baja al inicio y antes de cada volteo semanal, con las de los contenedores al iniciar el proceso de vermicompostaje, las de la pila fueron más altas que las otras durante las primeras 5 semanas (SSPC, 1SPC, 2SPC, 3SPC, 4SPC, 5SPC), lo cual pudo deberse a que las capas de suelo y vermicomposta en el fondo y en la superficie de los contenedores actuaron como disipadores del calor generado durante la descomposición por parte de los microorganismos (Figura 1), situación que cambió a partir de la semana 6 (6SPC), en las que las temperaturas fueron muy semejantes en las 2 últimas semanas, lo que sugiere que los residuos habían alcanzado cierto grado de estabilidad (Figura 1).

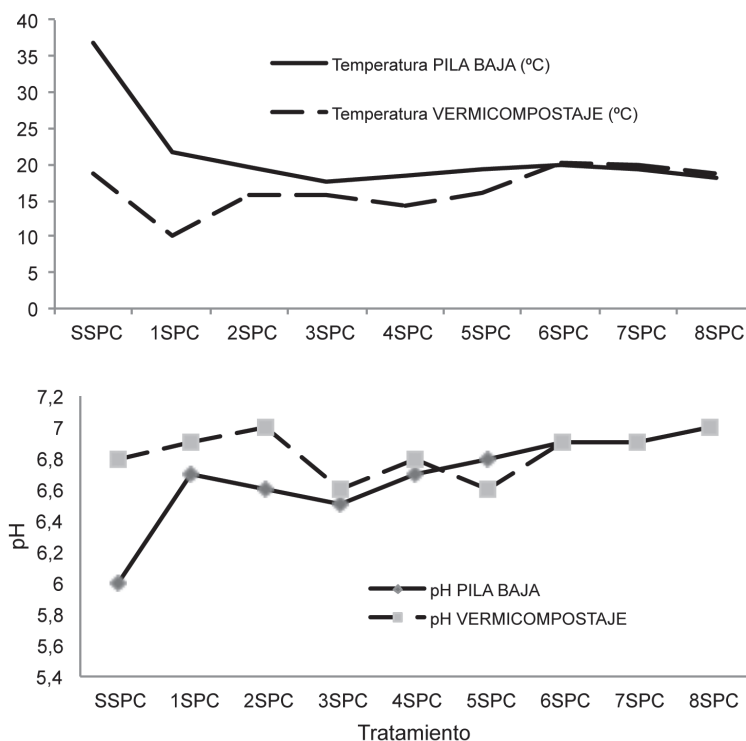


Fig. 1. Temperatura y pH registrados en la pila baja y en el proceso de vermicompostaje de residuos de mercado con diferentes periodos de precomposteo. SSPC= sin semanas de precomposteo; SPC= semanas de precomposteo.

Vermicompostaje “en capas”

Las variaciones de temperatura a lo largo de las 4 semanas que duró el proceso, pudieron obedecer a la intensa actividad de los microorganismos durante el mismo, sin embargo estas fluctuaciones se mantuvieron dentro del rango tolerable por las lombrices (Figura 1). Se considera que la conversión más rápida del desecho a vermicomposta se logra con temperaturas entre 13 y 22°C (Donovan 1981). En este experimento, al mes de haber sido introducidas las lombrices, el sustrato ya había sido transformado en vermicomposta, situación que pudo verse favorecida precisamente por el rango de temperaturas registradas bajo las condiciones del experimento.

En lo que respecta a los valores de pH en la pila baja, se registró un valor inicial de 6,0 el cual fue elevándose hasta llegar a 7,0 con una

ligera caída (6,6) en la semana 3; al comparar estos valores con los iniciales en el proceso de vermicompostaje, se identifica que éstos últimos son más altos en los tratamientos SSPC, 1SPC, 2SPC y 4SPC, lo que coincide con los valores de la tercera semana (3SPC) y en las 3 últimas (Figura 1). Sin embargo, en términos generales, en ambos procesos la tendencia fue la misma, el pH se incrementó hasta llegar a 7,0.

El pH de una pila depende del material o mezcla de materiales que se va a compostear, este es un buen indicador, al igual que la temperatura, de la marcha del proceso, y suele seguir una secuencia regular. Si en algún momento del precompostaje se crean condiciones anaerobias, tiene lugar una liberación de ácidos orgánicos de cadena corta y se observa un descenso del pH. Según Capistrán et ál. (2004), durante la

descomposición de la materia orgánica, los cambios químicos que se presentan modifican el pH, y pasan de valores ácidos a alcalinos hasta terminar en valores cercanos al neutro.

Silva y Oliver (2008) compostearon previamente residuos de frutas y verduras en composteros de 0,8 m de diámetro por 1,20 m de altura, con capas alternas de suelo y los residuos triturados, aerados una vez por semana durante 60 días antes de inocular 200 lombrices adultas en 2 kg de este sustrato, el cual fue colocado en recipientes de plástico de 23 l de capacidad, tapados y con un orificio de 15 cm de diámetro; y reportaron valores entre 6,2 y 7,0, durante los 30 días que duró el proceso de vermicompostaje.

En este experimento, los valores registrados durante las 4 semanas que duró el proceso de vermicompostaje fueron semejantes en los 9 tratamientos, registrándose desde el inicio valores dentro del rango óptimo ($6,91 \pm 0,08$), lo cual sugiere que las capas de suelo contribuyeron a que el pH se mantuviera más estable en comparación con los valores de la pila baja de compostaje. Cabe mencionar que en las vermicompostas se esperan valores de pH tendientes a la alcalinidad,

debido principalmente al carbonato de calcio secretado por las glándulas de Morren de la lombriz (Bollo 2001), como lo han reportado otros autores que observaron valores finales de $\text{pH} > 7$ (Rodríguez et ál. 2010, Silva y Oliver 2008).

Densidad poblacional y biomasa de la lombriz

La mayor producción de cocones se obtuvo en el tratamiento 1SPC y la menor en el tratamiento 7SPC, sin embargo de acuerdo con los datos obtenidos no es necesario someter los residuos a un precomposteo previo de 1, 2 u 8 semanas, ya que se obtiene una buena producción de cocones al igual que si no se precompostearan los residuos (Cuadro 1).

Santamaría y Ferrera (2002), precompostaron residuos sólidos orgánicos de mercado por 30 días y los colocaron en capas de 20 cm de espesor en contenedores de 2,40 x 0,90 x 0,45 m, los cuales fueron divididos en 4 secciones de 0,90 x 0,57 m, donde inocularon 230 g de lombriz m^{-2} de diferentes tamaños (1000 lombrices) y 130 cocones m^{-2} de la especie *E. andrei* que reportaron 1300 y 2750 cocones a los 75 y 130 días después de la inoculación, mientras que bajo

Cuadro 1. Promedio de cocones, juveniles y adultos producidos en el vermicompostaje de residuos de mercado con diferentes periodos de precomposteo.

Tratamiento	Cocones	Juveniles	Adultos			
			Recuperados (%)	Peso (mg)		Incremento de peso (%)
				inicial	final	
SSPC	29,96 ab ^z	8,22 ab	98,0	340	380	11,76
1SPC	34,10 a	7,23 ab	100,0	350	390	11,42
2SPC	29,59 ab	13,20 a	99,7	330	410	24,24
3SPC	24,13 bcd	6,01 b	99,7	340	460	35,29
4SPC	20,83 cd	5,03 b	97,4	330	420	27,27
5SPC	20,71 cd	2,70 b	98,9	320	410	28,12
6SPC	22,70 bcd	5,03 b	94,1	320	430	34,37
7SPC	18,96 d	3,60 b	100,0	320	390	21,87
8SPC	27,75 abc	5,57 b	97,5	340	360	5,88
CV	12,38	43,73				
DMS	7,49	6,54				

SSPC= sin semanas de precomposteo; SPC= semanas de precomposteo; CV= coeficiente de variación; DMS= diferencia mínima significativa. ^zValores promedio en la misma columna seguidas de letra diferente, indican diferencias significativas entre ellas ($p < 0,05$).

las condiciones de este experimento, a los 30 días, el mayor número cocones fue con 1, y el menor con 7 semanas de precompostaje de los residuos, observándose diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos.

Para el caso de las juveniles los tratamientos SSPC, 1SPC y 2SPC fueron estadísticamente iguales entre sí, y diferentes al resto de los tratamientos, lo que indica que si los residuos se someten a un precompostaje de 2 semanas se obtendrá un mayor número de juveniles, al igual que si se compostearan por una o ninguna semana, además, cabe mencionar que los ejemplares juveniles de mayor tamaño en apariencia se observaron en los tratamientos 1SPC, 2SPC, 3SPC y 4SPC. Santamaría y Ferrera (2002), mencionan que las características biológicas de la especie influyen también en la capacidad de las lombrices para reproducirse. Reinecke y Viljoen (1991), reportaron que *E. andrei* presentó alta producción de capullos al inicio de su madurez y posteriormente decreció a los 2 meses siguientes. En el Cuadro 1 pueden observarse los cambios en esta variable, lo que podría corroborar lo aquí descrito. Al tomar en cuenta ambos resultados, podría decirse que para obtener una buena producción de cocones y de juveniles son suficientes entre 0 y 2 semanas de compostaje previo, sin tener que esperar por 8 semanas. Acortar el periodo de compostaje

previo tiene la ventaja de mantener elevado el carbono lábil, lo que posiblemente favorece las posibilidades de desarrollo de las poblaciones de *Eisenia foetida* y *Eisenia andrei*, cuya ingesta se relaciona con los microorganismos del ciclo del carbono, que evita un medio de avanzada estabilidad del carbono para las lombrices, como ocurre cuando el compostaje se aproxima a su fin y las relaciones C/N tienden a 10/1 (Domínguez 2004).

En cuanto al peso de las lombrices, Santamaría y Ferrera (2002), señalan que un mayor número de lombrices indica que los individuos se reproducen, por lo que el peso individual promedio disminuye. Hernández et ál. (2009), menciona que a mayor densidad de lombrices menor biomasa por lombriz, motivado por la competencia por alimento.

El peso promedio individual de las lombrices antes de la inoculación se estimó entre 0,32 y 0,35 g y a los 30 días, hubo un ligero aumento en todos los tratamientos sin observar diferencias significativas, de los cuales los tratamientos 3SPC y 6SPC sobresalieron numéricamente, aun cuando en este último se reporta el menor porcentaje de recuperación de ejemplares adultos; la razón por la cual el tratamiento 8SPC es el que tiene el menor promedio de ganancia en peso podría ser porque estuvo entre los mejores tratamientos en cuanto a la producción de cocones, al igual que los tratamientos SSPC y 1SPC (Figura 2), a este

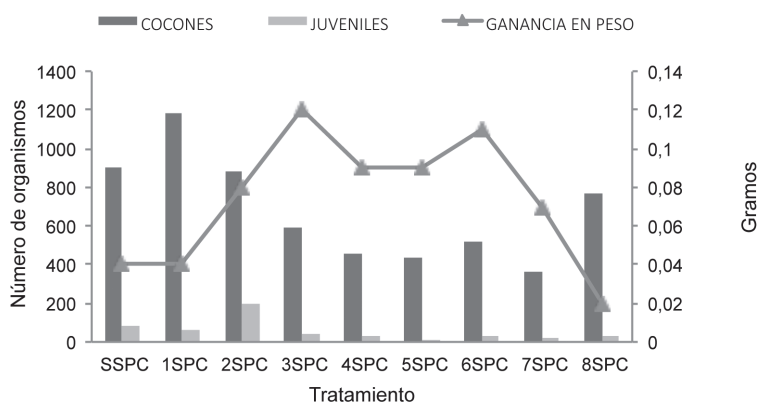


Fig. 2. Comparación de la ganancia en peso promedio individual con la producción de cocones y juveniles en el proceso de vermicompostaje de residuos de mercado con diferentes periodos de precomposteo. (SSPC= sin semanas de precomposteo; SPC= semanas de precomposteo).

respecto, Durán y Henríquez (2009), evaluaron el crecimiento, reproducción y adaptación de la lombriz *Eisenia foetida* en 5 sustratos orgánicos, que muestra que los tratamientos con menor peso promedio fueron los que produjeron una mayor cantidad de cápsulas o cocones. De igual forma, encontraron que lombrices de mayor peso se relacionaron con menores tasas de reproducción, situación parecida se refleja en los tratamientos 3SPC, 4SPC, 5SPC, 6SPC y 7SPC. Según Aira et ál. (2007), cualquier factor de estrés en el medio se traduce en una elevación de la tasa metabólica de la lombriz, lo que incremento el gasto energético que genera una reasignación de recursos lo cual podría estar enfocado al crecimiento corporal en detrimento de la reproducción.

Sin embargo, en el tratamiento 2SPC se observa una buena producción tanto de cocones, como de juveniles, así como un mediano incremento de peso, lo que podría sugerir que el pre-compostaje de 2 semanas es recomendable para el desarrollo y crecimiento de las lombrices, tal vez en este tratamiento existía una mayor cantidad de microorganismos que en los otros, lo suficiente como para alimentarse, reproducirse y que los ejemplares juveniles alcanzarán más rápidamente la etapa de subadultos, ya que este tratamiento fue uno de los que presentó juveniles de mayor

tamaño en apariencia, con tallas de menos de 1,5 cm. Debido a que el lombricomposteo se acopla al composteo previo, éste último debe efectuarse con menos o ningún volteo, también debe cuidarse que la materia orgánica composteada esté disponible para las lombrices antes de finalizar el proceso de composta, porque el producto estabilizado posee escaso alimento para las lombrices (hongos, bacterias, protistas, restos orgánicos parcialmente digeridos, etc.) (Shuldt 2007).

Schuldt (2009), menciona que es esencial delimitar adecuadamente el periodo del proceso de vermicompostaje, ya que los procesos de descomposición pueden generar diversos compuestos tóxicos para las lombrices.

En los promedios de la producción de cocones y juveniles y su relación con el pH y la temperatura, se observó que durante los distintos periodos de vermicompostaje se dieron condiciones adecuadas para el desarrollo de la lombriz (Figura 3). Santamaría y Ferrera (2002) mencionan que la reproducción de la lombriz, así como su desarrollo, y otros factores fisiológicos se encuentran influenciados por la temperatura, la cual también afecta la producción de capullos.

Kaplan et ál. (1980), reportan que las lombrices mueren después de ser sometidas a un pH

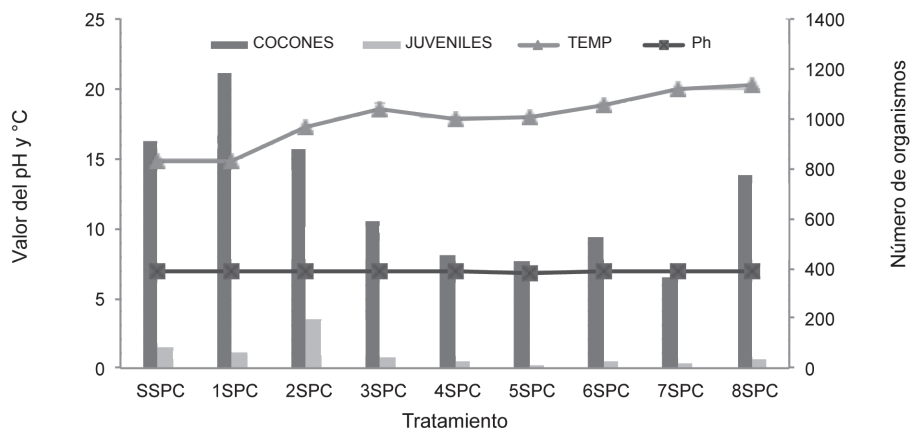


Fig. 3. Relación de la temperatura y pH con la producción de cocones y juveniles en el proceso de vermicompostaje de residuos de mercado con diferentes periodos de precomposteo. (SSPC= sin semanas de precomposteo; SPC= semanas de precomposteo).

<5,0 ó >9,0, pero sobreviven y ganan peso cuando están expuestas a un pH en un rango de 6,0 a 9,0.

Por otra parte, cada sustrato admite una cantidad determinada de lombrices que se relaciona con el tipo y grado de envejecimiento de la materia orgánica, por lo que es importante conocer la dinámica poblacional de las lombrices en un determinado sustrato orgánico, ya que de esta manera se podrá recomendar o no, la utilización de los residuos orgánicos que se generan en la región, además de que la obtención de la vermicomposta está en función de esta dinámica (Schuldt et ál. 2005).

Capistrán et ál. (2004) mencionan que las lombrices no pueden procesar un material entero (ya que no poseen dientes) que sobresalga de la superficie del depósito, porque ello implica que salgan a la superficie y queden expuestas a la desecación o a los predadores; por lo que solo se limitarán a consumir el material desde abajo, en la fracción que se encuentre enterrada bajo el nivel de la superficie. En este caso, la capa de suelo que se colocó en la superficie, dados los escasos y limitados riegos, permanecía seco, de tal forma que las lombrices no accedían a esa zona y la vermicomposta producida se concentró en la parte media, al igual que los cocones y las lombrices juveniles, que muestran como hecho común los ejemplares adultos en la parte del fondo, de la capa de suelo, tal vez por la falta de alimento. Domínguez (2004), menciona que las lombrices no son muy propensas a reprocessar sustratos ya procesados por ellas, al punto que evitan medios donde el carbono lábil no abunda, estimándose que si la humificación sobrepasa al 10% evitan el sustrato. Sin embargo, el porcentaje de humedad de la vermicomposta fue el adecuado, lo que sugiere que además la capa superficial de suelo funcionó como barrera para evitar la evaporación del agua contenida en el sustrato. Por otra parte, aun cuando los residuos poseen un alto porcentaje de humedad, la generación de lixiviados fue escasa, posiblemente por la frecuencia y cantidad de los riegos, o porque la capa de vermicomposta y de suelo en el fondo funcionaron como absorbentes de la humedad en

exceso que pudiera generarse de los residuos, los cuales estaban en la parte media.

En la etapa de vermicompostaje aun cuando los valores de temperatura, pH y CE estén dentro del rango óptimo para las lombrices, no significa que el medio en el que están sea el apropiado para su desarrollo, por lo que es importante implementar estrategias que garanticen la supervivencia y reproducción de las mismas sin perder de vista los parámetros antes mencionados; como la estrategia empleada en este estudio, donde el vermicompostaje “en capas” permitió la conversión del sustrato a vermicomposta en 30 días todavía sin someterlo a un precompostaje previo y disminución del tamaño de la partícula como marca la literatura, lo cual permitiría reducir el gasto en maquinaria y mano de obra. Además, el suelo utilizado en las capas podría reintegrarse nuevamente al suelo de cultivo, y con ello realizar el ciclo completo entre suelo y fertilización. Por otro lado, las capas de suelo además de funcionar como controlador de malos olores, refugio para las lombrices e inóculo de microorganismos también funcionó como “condensador” para conservar la humedad, lo que redujo la evaporación del agua, por lo tanto la frecuencia y el consumo de agua también se redujeron. Al mismo tiempo, actuaron como “disipadores” de calor, lo que permitió que las temperaturas no se incrementaran durante el proceso de descomposición por parte de los microorganismos, lo cual permitió que las lombrices pudieran acceder al sustrato en busca de alimento sin que la temperatura las dañara.

CONCLUSIONES

El vermicompostaje en capas reduce significativamente el tiempo del proceso para lograr la completa descomposición de los residuos orgánicos.

Para la presencia de cocones y juveniles no es necesario el precomposteo. La producción de cocones y juveniles fue adecuada en todos los tratamientos. Se recomiendan aquellos en los que las juveniles presentaron mayor tamaño (tratamientos con 1, 2, 3 y 4 semanas de

precompostaje), lo que significa que alcanzan la madurez en menor tiempo.

En general el precomposteo de 0 a 2 semanas favorece la reproducción y el de 3 a 7 semanas favorece el crecimiento individual de las lombrices.

El precomposteo de 2 semanas resultó ser el mejor tratamiento debido a que favorece la reproducción y el aumento de peso promedio de la lombriz.

El precompostaje no es necesario cuando las pilas de vermicomposteo tienen menos de 50 cm de altura, lo que permite terminar la vermicomposta en 30 días.

LITERATURA CITADA

- AIRA M., DOMÍNGUEZ J., MONROY F., VELANDO A. 2007. Stress promotes changes in resource allocation to growth and reproduction in a simultaneous hermaphrodite within determinate growth. *Biological Journal of the Linnean Society* 91:593-600.
- BOLLO E.T. 2001. Lombricultura, una alternativa de reciclaje. Soboc Grafic, Quito, Ecuador. 158 p.
- CABILDO M.P., CLARAMUNT R.M., COMAGO M^a.P., ESCOLÁSTICO C., ESTEBAN S., FARRÁN M.A., GARCÍA M.A., LÓPEZ C., PÉREZ J., PÉREZ M., SANTAMARÍA M.D., SANZ D. 2008. Tratamiento de la materia orgánica. Compostaje, pp. 141-165. In: *Reciclado y tratamiento de residuos*. UNED. Ciencias Ambientales. Madrid.
- CAPISTRÁN F., ARANDA E., ROMERO J. 2004. Manual de reciclaje, compostaje y lombricompostaje. 1^{era}. Ed., 2^a. Reimp. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Ver., México. 151 p.
- CASTILLO A., QUARÍN S.E., IGLESIAS M. 2000. Caracterización química y física de compost de lombrices elaborado a partir de residuos orgánicos puros y combinados. *Agricultura técnica (Chile)* 60(1):74-79.
- DOMÍNGUEZ J. 2004. State of the Art and New Perspectives on Vermicomposting Research, pp. 401-424. In: C.A. Edwards (ed.). *Earthworm Ecology*. 2nd ed. CRC Press, Boca Raton, FL.
- DONOVAN J.F. 1981. Engineering assessment of vermicomposting municipal wastewater sludges. United States Environmental Protection Agency. Municipal Environmental Research Laboratory, Center for Environmental Research Information [distributor], Cincinnati, OH. 94 p.
- DURÁN L., HENRÍQUEZ C. 2009. Crecimiento y reproducción de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense* 33(2):275-281.
- GARCÍA E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 3^a Edición. UNAM. México, D.F. 252 p.
- GARCÍA R.E. 2006. La lombriz de tierra como una biotecnología en agricultura. Universidad Autónoma Chapingo. México. 178 p.
- GUNADI B., BLOUNT C., EDWARDS C.A. 2002. The growth and fecundity of *Eisenia foetida* (Savigny) in cattle solids pre-composted for different periods. *Pedobiología* 46:15-23.
- HERNÁNDEZ J. 2006. Lombricultura en Zonas Cálidas. 2^a Edición. Cuaderno de Extensión Rural N^o. 4. División de Extensión Agrícola. Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela. 42 p.
- HERNÁNDEZ J.A., PIETROSEMOLI S., FARIA A., PALMA R., CANELÓN R. 2009. Efecto de la frecuencia de alimentación en el crecimiento y la reproducción de la lombriz *Eisenia* spp. *Interciencia* 34(4):270-273.
- HERNÁNDEZ V. 1996. Tratamiento de residuos sólidos orgánicos urbanos utilizando lombriz de tierra *Eisenia foetida*. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Depto de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México. 124 p.
- KAPLAN D.L., HARTENSTEIN R., NEUHAUSER E.F. 1980. Psychochemical requirements in the environment of the earthworm *Eisenia foetida* (J.). *Soil Biology Biochemistry* 12:327-352.
- LARA A., QUINTERO R. 2006. Manual de producción de humus de lombriz. Unidad Académica de Agronomía. Universidad Autónoma de Zacatecas "Francisco García Salinas". Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Edo. de México, México. Fundación Produce Zacatecas, A. C. 43 p.
- LEGALL J., DICOVSKIY L., VALENZUELA Z. 2002. Manual básico de lombricultura para condiciones tropicales. Escuela de Agricultura y Ganadería de Esteli, Nicaragua. Consultado en Noviembre 2009. Disponible en http://www.4shared.com/office/kaXb0Ri2/agricultura_ecologica_-_manual.html
- MORENO A. 2005. Origen, importancia y aplicación de la vermicomposta para el desarrollo de especies vegetales. *Revista Agraria Nueva Época* 2(3):15-23.
- OLIVER G.R., TABOADA M., VÁZQUEZ O. 2003. Producción de lombriz roja de California (*Eisenia foetida*) por manos indígenas. CIB-UAEM. Cuernavaca, Mor. 24 p.
- REINECKE A.J., VILJOEN S.A. 1991. Vertical deposition of cocoons by the compost worm *Eisenia foetida* (Oligochaeta). *Pedobiología* 35:147-152.

- RODRÍGUEZ R., ALCANTAR E.G., IÑIGUEZ G., ZAMORA F., GARCÍA P.M., RUIZ M.A., SALCEDO E. 2010. Caracterización física y química de sustratos agrícolas a partir de bagazo de agave tequilero. *Interciencia* 35(7):515-520.
- SANTAMARÍA S., FERRERA R. 2002. Dinámica poblacional de *Eisenia andrei* (Bouché 1972) en diferentes residuos orgánicos. *Terra* 20(3):303-310.
- SCHULDT M. 2004. *Lombricultura fácil*. Work Graf, La Plata 153 p.
- SCHULDT M. 2007. Experiencias en el tratamiento de residuos biodegradables en Patagonia. VI Encuentro Patagónico de Ciencias Sociales Esquel, 11 p. Consultado en octubre de 2011. Disponible en <http://www.isfd809esquel.com.ar/> *Esctrucplan* VII 622:1-6.
- SCHULDT M. 2009. Notas del Curso "Lombricultura y sus Aplicaciones". Consultado en octubre de 2011. Disponible en <http://www.manualdelombricultura.com>
- SCHULDT M., CHRISTIANSEN R., MAYO J.P., SCATTURICE L.A., PESSIN C., HELLING M.A., ILLANES I., GASPAR C., RUBINICH J.M. 2009. Pruebas de laboratorio con *Eisenia foetida* (Oligochaeta, Lumbricidae) para establecer tiempos mínimos de compostaje. Discrepancia con observaciones de campo. *Estrucplan* IX 695:1-7.
- SCHULDT M., RUMI A., GUARRERA L., DE BELASTEGUI H. 1998. Programación de muestreos de *Eisenia foetida* (Annelida-Lumbricidae). Adecuación a diferentes alternativas de manejo. *Revista Argentina de Producción Animal* 19(2):331-346.
- SCHULDT M., RUMI A., GUTIÉRREZ D.E. 2005. Determinación de "edades" (clases) en poblaciones de *Eisenia foetida* (Annelida: Lumbricidae) y sus implicancias reprobilógicas. *Revista del Museo de La Plata. Zoología* 17(170):1-10.
- SILVA B.A., OLIVER G.R. 2008. Utilización de diferentes sustratos para el desarrollo de la lombriz roja de California en Morelos, México, pp. 119-133. In: G.R Oliver, S.M. Taboada y C.A Granjeno. (Comp). 2008. *Manejo Integrado de Recursos Bióticos*. Estudios de caso. AGT editor. México. 216 p.

