



Inactivación del metacestodo de *Taenia solium* a través del proceso de compostaje: Una realista alternativa aplicable en el medio rural en México

Metacestode of *Taenia solium* inactivation by composting: a feasible alternative in rural areas of Mexico

Habacuc Esquivel* Nelly Villalobos* Alejandro Vargas*** José Juan Martínez Maya**

Abstract

Cysticercosis by *Taenia solium* metacestode affects pigs, giving ground for meat confiscation. Composting is an alternative disposition method for confiscated carcasses and other animal debris, inactivating and destroying pathogens in the carcasses. In this study, composting was evaluated as a method to inactivate *T. solium* metacestodes. Seven compost cone-shaped piles were built, and three depth-zones were defined within them. Each zone was divided into 4 subzones, and a portion of contaminated meat was introduced into each subzone. Meat was sampled at 24, 36, 48, and 72 h and tested for evagination *in vitro*. The maximum required time for cysticercus inactivation was 48 h. Meat was incorporated to compost after 7 days. No significant differences were found in cysticercus inactivation among the compost zones ($P > 0.05$), but significant differences were found with respect to the outside. Therefore, all zones were regarded equally effective to inactivate viable *T. solium* cysticerci.

Key words: COMPOSTING, INACTIVATION, METACESTODE, *T. SOLIUM*.

Resumen

La cisticercosis causada por el metacestodo de la *Taenia solium* afecta al cerdo y es causa de decomiso obligatorio. La composta es un medio alternativo para depositar decomisos y otros desechos animales, ya que inactiva y destruye patógenos presentes en canales. En el presente estudio se evaluó el compostaje para la inactivación de metacestodos de *T. solium*. Para ello se construyeron siete pilas de composta en forma de cono, divididas según su profundidad en tres zonas y cada una en cuatro partes, donde se colocó carne contaminada. Se realizaron muestreos a las 24, 36, 48 y 72 h, y se sometieron a la prueba de evaginación *in vitro*. El tiempo máximo para la inactivación total de los cisticercos fue de 48 h. La carne quedó incorporada a la composta desde los 7 días. No se encontró diferencia significativa ($P > 0.05$) entre la inactivación de cisticercos en los distintos niveles de las compostas, pero sí con respecto al exterior, por lo que se consideró efectiva cualquier zona para la inactivación de cisticercos de *T. solium* viables.

Palabras clave: COMPOSTAJES, INACTIVACIÓN, METACESTODO, *T. SOLIUM*.

Recibido el 27 de agosto del 2013 y aceptado el 15 de enero de 2014.

*Departamento de Patología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510, México D.F.

**Departamento de Medicina Preventiva, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510, México D.F.

***Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Porcina (CEIEPP) -Jilotepec. FMVZ. Universidad Nacional Autónoma de México, 04510, México D.F.

Responsable de correspondencia: Dra. Nelly Villalobos. Tel 00525556225958, correo electrónico: nelly@unam.mx

Este trabajo es parte de la tesis de licenciatura del primer autor.

Introduction

Cysticercosis is caused by the metacestode, or larval form of *Taenia solium* and may affect human and pig tissues.¹ The life cycle of *T. solium* includes the pig as the intermediate host.¹ Therefore, pig carcasses with metacestodes should not be consumed, and in case of being confiscated, they must be stored in containers for subsequent disposal; however, waste often exceeds the container capacity, for which mishandling of organic material left inside may be a challenge.

In order to monitor waste materials, composting organic waste has been suggested. This process is economic and has low impact when used as a method for destruction of confiscated cysticercosis-infected pig carcasses, in any municipal slaughterhouse of the country.

In recent years, the composting process has been used as routine carcass disposal/management and in cases of high mortality rate in poultry and pig farms, where it has been identified as preferred method for carcass disposal in farms.² Although many surveys have been focusing on pathogen destruction by composting, little attention has been paid to its appreciable efficacy in destroying causative agents of parasitic diseases.³

Aerobic composting is the biological process that generates a biochemical reaction which releases heat, carbon dioxide and water vapour,^{4,5} where interaction of several bacterial, fungus and actinomyces species coexists, facilitating biochemical changes that transform raw organic waste materials.⁶ In turn, the population of these microorganisms appear in cyclic succession according to the environmental conditions in the compost pile, such as: temperature, moisture content, porosity and pH.⁵ Thus, cyclic microbial succession is promoted with the aim to decompose the organic material into more simple nutrients, where thermal change plays an important role for the establishment of microorganism population and its destruction.⁷

Due to increased temperature during the composting process, the majority of viruses and bacteria present in the raw organic materials are destroyed, but metacestode and other parasitic larval stage inactivation has not been proved totally effective.⁸

Compost is a stable odorless and humus-like material that is formed by decomposed animal and vegetable matter, has no environmental health risk and high social acceptance. Therefore, the objective of this study was to evaluate the inactivation of *T. solium* cysticerci while being exposed to different temperatures during the composting process.

Introducción

La cisticercosis es causada por el metacestodo o forma larvaria de la *Taenia solium* y puede afectar a diferentes tejidos del organismo del hombre y del cerdo.¹ El cerdo es el huésped intermediario para mantener el ciclo de *T. solium*.¹ Por tal motivo, las canales de cerdo con metacestodos no deben ser consumidas, y en caso de ser decomisadas, deben almacenarse en contenedores para desecharlas posteriormente; sin embargo, muchas veces los desechos sobrepasan la capacidad de los contenedores, por lo que puede hacerse un mal manejo del material orgánico que queda en ellos.

Para controlar una adecuada eliminación se ha propuesto el proceso de compostaje a base de material orgánico. Este proceso es económico y de bajo impacto cuando se usa como método para la destrucción de canales de cerdo decomisadas en cualquier rastro municipal del país por estar contaminadas con cisticercos.

En los últimos años, el proceso del compostaje se ha utilizado para el manejo rutinario de eliminación de canales y en casos de mortalidad elevada en granjas de aves y cerdos, donde se ha identificado como el método preferido para la disposición de los cadáveres en granjas.² Aunque la destrucción de los patógenos a través de la composta ha sido el foco de muchas investigaciones, se ha puesto poca atención a su eficacia para destruir a los agentes causantes de enfermedades parasitarias.³

El compostaje de tipo aeróbico es el proceso biológico que genera una reacción bioquímica que libera calor, bióxido de carbono y vapor de agua,^{4,5} en donde coexiste una interacción de diversas especies de bacterias, hongos y actinomicetos que facilitan los cambios bioquímicos que transforman la materia prima compostada.⁶ A su vez, las poblaciones de estos microorganismos se presentan en una sucesión cíclica de acuerdo con las condiciones del medio dentro de la pila en la composta, como la temperatura, humedad, porosidad y el pH.⁵ De esta manera, se promueve una sucesión microbiológica cíclica con la finalidad de decomponer la materia orgánica hacia nutrientes más simples, donde los cambios térmicos juegan un papel fundamental para el establecimiento de las poblaciones de microorganismos y su destrucción.⁷

Debido al incremento de temperatura durante el proceso de compostaje se destruye a la gran mayoría de virus y bacterias presentes en la materia prima compostada, pero la efectividad de la inactivación de cestodos y otras fases larvarias de parásitos no han quedado totalmente comprobadas.⁸

La composta es un material inodoro, estable y parecido al humus, que se forma por la descomposición

Material and methods

This study was carried out at the Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Porcina (CEIEPP) of the Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia of the UNAM. Seven compost cone-shaped piles with a height of 40 cm and 90 cm in diameter were formed with 22.5 kg of pig manure, 22.5 of ground pine bark, 22.5 kg of ground grass (particles with a range of diameters between 10 and 20 mm) and 60 L of water. Pine and grass were mixed with pig manure until generating a homogeneous mixture. Water was gradually added to obtain a homogeneous mixture of ingredients and water level, with 70% of humidity. Based on its depth, the cone was divided into three zones: zone 1, located on the top; zone 2, located at the central part and zone 3, located at the bottom, 10 cm from the base, each one separated by approximately 10 cm. Also, the circumference (seen from above) was divided into quadrants (A, B, C and D).

Ten kg of experimentally infected meat with cysticerci, cut into cubes of approximately 300 g, were put in each zone of the compost piles. To keep track of the metacestode destruction percentage, four plastic bins (one for each quadrant) with lids and bottom grid-like pattern were also placed, containing 10 metacestodes each, giving a total of 12 plastic bins per compost. Each bin was fixed by means of a wire guide for its identification and easy removal at the moment of sampling. Also, four control assay tubes with 10 viable cysticerci and with 2 ml of physiological saline solution (PSS) were used as controls and were placed outside the compost pile.

For temperature evaluation (°C) in different composting process stages, a digital infrared thermometer was used. Temperature was taken at 24, 36, 48 and 72 hours, at days 7, 14, 21, 28, 35 and 42 after the ingredient mixture was made (IM). Also, a hydrometer* was used to record the compost moisture level (ML).

A plastic bin was removed from each quadrant at 24, 36, 48 and 72 hours, as well as the control assay tubes from this quadrant. In order to determine viability of cysticerci, 0.85% of physiological saline solution and 10:1 pig bile concentration were used, mixed in a Petri dish that was placed in an electric culture oven* for 24 hours at 37°C; after that time, those cysticerci that evaginated and showed movement were considered alive and with infective capacity.

The chi-square test was used to analyze the results.⁹ The Kolmogorov-Smirnov test⁹ was used for temperature analysis, with the objective to determine whether or not data presented a normal distribution; therefore, the ANOVA method was used to compare the temperatures of the zones in which the compost piles were di-

de materiales animales y vegetales, no presenta riesgo sanitario para el medio ambiente y tiene una aceptación social elevada. Por lo que el objetivo del presente trabajo fue evaluar la inactivación que presentan los cisticercos de *T. solium* al permanecer expuestos a las diferentes temperaturas que se presentan durante el proceso de compostaje.

Material y métodos

El estudio se llevó a cabo en el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Porcina (CEIEPP) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM. Se construyeron 7 pilas de composta en forma de cono con una altura de 40 cm y un diámetro de 90 cm; cada una se formó con 22.5 kilos de excretas de porcino, 22.5 kilos de madera de pino molido, 22.5 kilos de pasto molido (con partículas de un tamaño de entre 10 a 20 mm) y 60 litros de agua. Se mezclaron el pino y el pasto con los sólidos de excretas porcinas hasta generar una mezcla homogénea. El agua se adicionó gradualmente para que la mezcla de los ingredientes y el nivel de agua fueran homogéneos con 70% de humedad. Con base en su profundidad, el cono se dividió en tres zonas: zona 1, localizada en la parte superior; la zona 2, ubicada en la parte central y la zona 3, localizada en la parte inferior a 10 cm de la base, cada una separada aproximadamente 10 cm. Además, la circunferencia (vista desde arriba) se dividió en cuadrantes (A, B, C y D).

En cada una de las zonas se colocaron 10 kilogramos de carne de cerdo infectado experimentalmente con cisticercos, cortada en trozos de aproximadamente 300 gramos. Para contabilizar el porcentaje de destrucción de los metacestodos, se colocaron además cuatro cajas de plástico (una para cada cuadrante) con tapa y base en forma de rejilla, las cuales contenían 10 metacestodos cada una, dando un total de 12 cajas de plástico por composta. Cada caja se fijó con una guía de alambre para su identificación y fácil retiro al momento de los muestreos. Además, se utilizaron cuatro tubos de ensayo con 10 cisticercos viables y con 2 ml de solución salina fisiológica (SSF), los cuales sirvieron como testigos y se ubicaron afuera de la pila de la composta.

Para la evaluación de la temperatura (°C) en las diferentes etapas del proceso de compostaje, se utilizó un termómetro infrarrojo digital. Se tomó la temperatura a las 24, 36, 48 y 72 horas, a los 7, 14, 21, 28, 35 y 42 días posteriores al mezclado de los ingredientes (MI). También se utilizó un higrómetro* para registrar el nivel de humedad (HR) contenido dentro de las pilas de composta.

*G.I.S. Ibérica HR001, España

vided. Data were processed using the GraphPad InStat 3® statistics software.

Results

Survival of metacestodes. With respect to treatment time, it was observed that during the first 24 hours there was no difference in survival rate; however, at 36, 48 and 72 hours, evagination rates were higher in cysticerci found at the outside of the compost piles ($P < 0.05$) (Table 1).

Seven days after the start of the composting process, metacestodes were not evaluated because the meat was already incorporated to the compost materials (liquefaction process).

At 24 hours it was observed that cysticerci from the three zones of the compost, as well as controls, showed 40% of evagination in the superficial and intermediate zones, 52% in the deep zone and 62% in control group. There were no significant differences ($P > 0.05$).

At 36 hours, a decreased evagination rate from 10 to 19% was observed in the three internal zones. Contrary to the control group, which showed 62% of evagination.

At 48 hours, only 4% of metacestodes from the compost evaginated in the superficial zone, while metacestodes from the control group showed 38% of evagination. ($P < 0.05$).

At 72 hours, only 2% of cysticerci evaginated in the superficial zone, while 12% of evaginated metacestodes from the control group was determined in this zone. Results were processed using GraphPad InStat 3® statistics software.

Temperature. In the first 72 hours of the experiment, a similar trend in the three zones of the compost pile (48.5 to 49.1°C) was observed, different from the temperature of the pile's exterior (35.8°C) ($P < 0.05$), which always remained below the levels reached in the pile (Table 2).

Se sacó una caja de plástico de cada cuadrante a las 24, 36, 48 y 72 horas, así como el tubo con los testigos de ese cuadrante. Para determinar la evaluación de la viabilidad de los cisticercos se utilizó solución salina fisiológica al 0.85% y bilis de cerdo en una concentración 10:1, mezclados en una caja de Petri, la cual se colocó en una estufa de cultivo eléctrica* por 24 horas a 37°C, después de ese tiempo se consideraron vivos y con capacidad infectiva aquellos cisticercos que evaginaron y que presentaban movimiento.

Los resultados se analizaron mediante una prueba de Ji-cuadrada.⁹ Para el análisis de las temperaturas se utilizó la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov⁹ con el fin de determinar si los datos presentaban o no una distribución normal, por ello se utilizó el método de ANDEVA para comparar las temperaturas de las zonas en que se dividieron las pilas de composta. Los datos se procesaron mediante el paquete estadístico GraphPad InStat 3®.

Resultados

Sobrevivencia de los metacestodos. Con respecto al tiempo de los tratamientos, se observó que a las primeras 24 horas no hubo diferencia en la proporción de supervivencia; sin embargo, a las 36, 48 y 72 horas, las proporciones de evaginación fueron mayores en los cisticercos encontrados en el exterior de las pilas de composta ($P < 0.05$) (CUADRO 1).

Después de siete días del inicio del proceso de compostaje no se evaluaron los metacestodos debido a que la carne ya estaba incorporada a los materiales de la composta (proceso de licuefacción).

Se observó que a las 24 horas, los cisticercos de las tres zonas de la composta, así como los testigos, presentaron 40% de evaginación en las zonas superficial e intermedia, 52% en la zona profunda y 62% en el grupo testigo. En ningún caso hubo diferencia significativa ($P < 0.05$).

*Riossa MON, México

CUADRO 1

Proporción de evaginaciones de metacestodos de *Taenia solium* a diferentes profundidades y tiempos

Evagination rate of scolices in *Taenia solium* metacestodes at different depths and times

| Evagination | 24 h | | 36 h | | 48 h | | 72 h | |
|--------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| | evagination | rate/total | evagination | rate/total | evagination | rate/total | evagination | rate/total |
| Superficial | 0.40a | 21/52 | 0.10a | 5/52 | 0.04a | 2/52 | 0.02a | 1/52 |
| Intermediate | 0.40a | 21/52 | 0.12a | 6/52 | 0.00a | 0/52 | 0.00a | 0/52 |
| Deep | 0.52a | 27/52 | 0.19a | 10/52 | 0.00a | 0/52 | 0.00a | 0/52 |
| External | 0.62a | 32/52 | 0.62b | 32/52 | 0.38b | 20/52 | 0.12b | 6/52 |

Only a difference between temperatures was recorded at 24 hours in the three decomposition zones with respect to subsequent samplings ($P < 0.05$), which showed a similar temperature trend in the three zones. In the first four samplings, the periods in which higher composting temperatures occur correspond to the interval between 36 and 48 hours (Table 2), also the period during which lower rate of evagination in metacestodes occurs in the compost pile ($Z1 = 4\%$, $Z2 = 0\%$ and $Z3 = 0\%$). Temperature samplings at days 7, 14, 21, 28, 35 and 42 showed that in the composting process, the following stages were observed: mesothermal ($10 - 40^\circ\text{C}$), thermophilic ($40 - 75^\circ\text{C}$), cooling (less than 40°C) and maturity or curing (20°C or less).

Discussion

No similar studies evaluating the inactivation or destruction process of *T. solium* cysticerci by temperatures generated during composting have been found.

The results obtained in the present study may be compared with what was described by Nava *et al.*,¹⁰ who used the cooking process for cysticerci inactivation, in which resistance of *T. solium* metacestodes was evaluated, and it was found that deep frying of contaminated pieces of meat no more than 5 cm thick, for at least one hour, inactivates the cysticercus.¹⁰ Likewise, prolonged cooking in water on the boiling point of contaminated pork meat fragments (no more than 5 cm thick), for two hours, inactivates the metacestodes; additionally, they also found that inactivation is generated at cooking temperatures of 80°C for 15 minutes, in meat about 4 cm thick.

In the present study it was observed that the period of intense cysticerci inactivation occurs between 36 and 48 hours, when there is only 4% of evagination in the superficial zone and none in the intermediate and deep zone, which is associated with the temperature reached inside the compost pile during that same period ($Z1 = 47.7^\circ\text{C}$, $Z2 = 48.9^\circ\text{C}$ and $Z3 = 48.4^\circ\text{C}$).

A las 36 horas, hubo una disminución de 10 a 19% en la proporción de evaginaciones en las tres zonas internas. Contrario al grupo testigo, que presentó 62% de evaginación ($P < 0.05$).

A las 48 horas, sólo en la zona superficial evaginó un 4% de los metacestodos de compostas, mientras que los metacestodos del grupo testigo presentaron 38% de evaginación ($P < 0.05$).

A las 72 horas, sólo 2% de los cisticercos de la zona superficial evaginaron, en tanto que de los metacestodos del grupo testigo evaginaron el 12% ($P < 0.05$). Los resultados fueron procesados mediante el paquete estadístico GraphPad InStat 3®.

Temperatura. Durante el periodo correspondiente a las primeras 72 horas del experimento, se observó una tendencia similar en las tres zonas del cono de composta (48.5 a 49.1°C), las cuales fueron diferentes a la temperatura exterior de la pila 35.8°C ($P < 0.05$), que siempre se mantuvo por debajo de los niveles alcanzados dentro del cono (CUADRO 2).

Sólo se registró diferencia entre las temperaturas registradas a las 24 horas en las tres zonas de la composta con respecto a los muestreos posteriores ($P < 0.05$), los cuales presentaron una tendencia de temperatura similar para las tres zonas. En los cuatro primeros muestreos se observa que los periodos durante los que se presenta una mayor elevación de la temperatura corresponden al intervalo de las 36 a las 48 horas (CUADRO 2), periodo durante el cual también ocurre el menor porcentaje de evaginaciones de los metacestodos dentro de las pilas de composta ($Z1 = 4\%$, $Z2 = 0\%$ y $Z3 = 0\%$). Los muestreos de temperatura de los días 7, 14, 21, 28, 35 y 42, mostraron que en el proceso de compostaje se observaron las siguientes etapas: mesotérmica ($10-40^\circ\text{C}$), termofílica ($40-75^\circ\text{C}$), enfriamiento (menos de 40°C) y maduración o curado (20°C o menos).

CUADRO 2

Temperaturas ($^\circ\text{C}$) de compostas a diferentes profundidades y tiempos

Compost temperature ($^\circ\text{C}$) at different depths and times

| <i>Depth</i> | <i>24 hours</i> | <i>36 hours</i> | <i>48 hours</i> | <i>72 hours</i> |
|--------------|--------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| Superficial | 42.5 ^{aa} | 44.5 ^{aa} | 47.7 ^{aa} | 49.1 ^{aa} |
| Intermediate | 43.4 ^{aa} | 46.3 ^{aab} | 48.9 ^{ab} | 48.5 ^{ab} |
| Deep | 42.4 ^{aa} | 44.2 ^{abab} | 48.4 ^{ab} | 48.6 ^{ab} |
| External | 21.2 ^{ba} | 34.5 ^{bb} | 32.4 ^{bb} | 35.8 ^{bb} |

Temperature differences at the same time at different depths, with different italic letters in each respective column ($P < 0.05$).

Temperature differences in different sampling periods with different bold letters in each respective line ($P < 0.05$).

The results obtained in this study with respect to temperature, show higher levels during the first 72 hours after the composting process has started and they are similar to the obtained in 2007 by Wilkinson² while using poultry carcasses that had died from influenza, where temperatures higher than 60°C within the first five days were recorded; in that study, the inactivation of pathogens (influenza virus) was demonstrated and it was observed that the smaller the particle the faster will decompose and temperature will increase inside the compost pile.

In the present study, the temperature of the compost piles decreased from day 14 to 21. Similar results are described by Wilkinson,² in 2007; Christesten *et al.*,³ in 2002 and Sánchez A, in 2011, who observed that temperature begins to drop from days 14 to 20 after the beginning of the process, for which they suggest that the materials of the compost be mixed again, avoiding the presence of sublethal zones (areas in which there is no adequate pathogen inactivation). The relative humidity (RH) recorded during the experiment always remained higher than 60%, which according to Liang *et al.*,⁵ is considered to be the best for the development of the composting process of solid waste. Jones and Martin¹¹ report that green-waste composting efficiently eliminates the majority of pathogens, as long as a temperature of 55°C is maintained for at least three days.

Composting is not the best mechanism for elimination of contaminated carcasses, especially in places where they are equipped with the infrastructure to use other procedures; however, it could be an effective alternative particularly in places where there are no incinerators, or it is not possible to use other procedures such as cooking, especially due to high parasitic load that sometimes is observed in carcasses, mainly in rural zones and because costs would probably not allow its implementation; therefore, carcass disposal would remain a challenge in the continuity of the biological cycle.

Acknowledgements

Special thanks is given to Dr, María Elena Trujillo for the facilities provided for carrying out this work, EMVZ Myriam Sánchez for the support given for carrying out the biological test and to the Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA), DGAPA project IT-214311 and PAPIIT project IN226611 for their financial support.

Referencias

1. LARRALDE C, ALUJA AS. Cisticercosis. Guía para profesionales de la salud. México DF: Secretaría de

Discusión

No se encontraron estudios similares que evalúen el proceso de inactivación o destrucción de cisticercos de *T. solium* mediante las temperaturas generadas durante el compostaje.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo pueden compararse con lo descrito por Nava *et al.*, quienes emplearon la cocción para la inactivación de los cisticercos, en los cuales se evaluó la resistencia de los metacestodos de *T. solium*, y se encontró que al someter a un proceso de freído al menos durante una hora, pueden inactivarse los cisticercos en rebanadas de carne no mayores a 5 cm de espesor.¹⁰ Asimismo, la cocción prolongada en agua a punto de ebullición durante dos horas, de fragmentos de carne de cerdo (no mayores a 5 cm) contaminada con cisticercos, inactiva los metacestodos; además encontraron que la inactivación se genera a temperaturas de cocción de 80°C durante 15 minutos, en carne con un espesor de aproximadamente 4 cm.

En la presente investigación se pudo observar que el periodo de mayor inactivación de los cisticercos ocurre entre las 36 y las 48 horas, cuando sólo se presentaron 4% de evaginaciones en la zona superficial, y ninguna en las zonas intermedia y profunda, lo que se relaciona con la temperatura alcanzada dentro de la pila de composta durante ese mismo periodo (Z1 = 47.7°C, Z2 = 48.9°C y Z3 = 48.4°C).

Los resultados obtenidos en el presente estudio con respecto a las temperaturas, muestran valores más elevados durante las primeras 72 horas de iniciado el proceso de compostaje, y son similares a los obtenidos en 2007 por Wilkinson² al utilizar canales de aves muertas por influenza, en las que se registraron temperaturas superiores a los 60°C dentro de los primeros cinco días; en ese trabajo se demostró la inactivación de patógenos (virus de influenza) y se observó que entre más pequeña es la partícula más rápidamente se descompone y se aumenta la temperatura dentro de la pila de la composta.

La temperatura de las pilas de composta de este trabajo presentó una disminución del día 14 al 21. Resultados similares describen Wilkinson² en 2007, Christesten *et al.*,³ en 2002 y Sánchez A,⁶ en 2011, quienes observaron que la temperatura comienza a descender a partir de los 14 a 20 días posteriores al inicio del proceso, por lo que sugieren que se mezcle nuevamente todo el contenido de la composta, para evitar la presencia de zonas sub-letales (que son las áreas en las que no se presenta una inactivación de patógenos adecuada). La humedad relativa (HR) registrada durante el experimento siempre se mantuvo por arriba del 60%, que de acuerdo con Liang *et al.*,⁵

- Salud Instituto Nacional de Salud Pública y Fondo de Cultura Económica, 2006; 104-127
2. WILKINSON KG. The biosecurity of on-farm mortality composting. *J Appl Microbiol* 2007; 102: 609-618.
 3. CHRISTESTEN K, CARLSBAEK M, KRON E. Strategies for evaluating the sanitary quality of composting. *J Appl Microbiol* 2002; (92): 1143-1158.
 4. RODRÍGUEZ M, CÓRDOBA, VÁSQUEZ A. Manual de Compostaje Municipal. Tratamiento de residuos sólidos urbanos. México DF: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2006:63-66.
 5. LIANG C, DAS K, MCCLEDON R. The Influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolid composting blend. *Bioresour Technol* 2003; (86): 131-137.
 6. SÁNCHEZ A. Conceptos básicos de gestión ambiental y desarrollo sustentable. México DF: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2011.
 7. RICKEBOER J, MARGAERT J, COSECANTS J, DEPRINS K, SWINGS J. Microbial aspects of biowaste during composting in a monitored compost bin. *J Appl Microbiol* 2003; (94): 127-137.
 8. VARGAS A., MENDOZA S, MARTÍNEZ R, CIPRIAN A. Elaboración de composta con residuos de granja y cálculos de la mano de obra. Memorias del XLV Congreso Nacional de AMVEC; 2010 agosto 4-7; Acapulco (Guerrero) México. México (DF): Asociación Mexicana de Médicos Veterinarios Especialistas en Cerdos, AC, 2010:108.
 9. WAYNE WD. Bioestadística: base para el análisis de las ciencias de la salud. México DF: Limusa, 2006.
 10. NAVA G, VILLALOBOS AN, ALUJA AS. Efecto de diferentes temperaturas (calor y frío) en carne de cerdo sobre la viabilidad del metacestodo de *Taenia solium*. *Vet Méx* 2009; 40: 191-196.
 11. JONES P, MARTIN M. A review of the literature on the occurrence and survival of pathogens of animals

se considera como óptima para el desarrollo del proceso de compostaje de residuos sólidos. Jones y Martin¹¹ informan que la mayoría de los patógenos se eliminan de manera eficiente durante el compostaje de residuos verdes, siempre y cuando la temperatura de 55 °C se mantenga al menos 3 días.

El compostaje no es el mejor mecanismo de eliminación de canales contaminadas, particularmente en sitios donde se cuenta con infraestructura para utilizar otros procedimientos; sin embargo, podría ser una alternativa efectiva sobre todo en lugares donde no se cuenta con incineradores, o no es posible aplicar otros procedimientos como la cocción, sobre todo por la alta carga parasitaria que en ocasiones se observa en las canales, particularmente en zonas rurales, y porque los costos muy probablemente no permitirían su implementación, y en consecuencia, la disposición de canales seguiría siendo un problema en la continuidad del ciclo biológico.

Agradecimientos

Se agradece a la Dra. María Elena Trujillo, por las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo, a la EMVZ Myriam Sánchez, por el apoyo en la realización de la prueba biológica. Este trabajo fue posible gracias al financiamiento brindado por la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA), proyecto DGAPA-IT-214311 y proyecto PAPIIT IN226611.

and humans in garden compost. Standards report November 2003. Oxon, UK: The waste and resources action programme, 2003:1-33.