

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

EVALUACIÓN DE LA INACTIVACIÓN DE CISTICERCOS DE *Taenia solium* EN
CARNE DE CERDO BAJO CONDICIONES DE COMPOSTAJE

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

PRESENTA

HABACÚC ESQUIVEL PÉREZ

Asesores:

MVZ. Dr. Ada Nelly Martínez Villalobos

MVZ. M.C. Alejandro Vargas Sánchez



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIAS

A **Dios**, por ayudarme a reencontrar el camino del bien, por haber puesto a personas buenas en mi camino, en momentos difíciles, y porque a pesar de ser un mal hijo, siempre has estado conmigo.

A mis padres, el señor Floriberto Esquivel Guerrero y la señora María Pérez Mejía, por su apoyo incondicional, por procurar hacer de mi una persona de bien, por haberme dado la oportunidad de terminar una carrera universitaria. Muchas gracias.

A mis sobrinos que tanto quiero, Miriam Sarahí y Miguel Ángel.

A mis hermanos, Esaú, Obed, Nehemías y Elizabeth.

A la familia Esquivel y a la familia Pérez.

A la Dra. Nelly Villalobos, por todo su apoyo, por sus conocimientos, por reprenderme y hacerme aprender de mis errores y por brindarme su amistad y su confianza.

Al Dr. Alejandro Vargas, por no cerrarme las puertas como muchos lo hicieron, por confiar en mí, por enseñarme a razonar, por brindarme sus consejos y sus conocimientos.

A todos mis compañeros que tuve la oportunidad de conocer durante mi servicio social: Angélica, Carmen, Cecilia, Yadira, María, Paloma, Carlos, Rosa, Lulú, Carmen Vanegas, Mariana, Marisol, Beto, Ernesto, David, Rocío, Diana.

Muy en especial a la Ing. Ma. Cecilia Velásquez González.

A mis amigos de la facultad: Miguel, Daniel, Jesús, José Luis.

A mis más queridas amigas: Liliana Diosdado Espinoza y Cynthia García Carbajal.

A las personas que creen en mí, y a las que dudan, porque me motivaron a finalizar este proyecto.

A las personas que han tenido la confianza de poner en mis manos la salud de sus animales, muchas veces su único patrimonio.

Al pueblo que me ha visto crecer: San Francisco Xonacatlán, Estado de México.

“Mi querida más fiel, es la esperanza, que me suele engañar y no me deja”. Ramón de Campoamor. (1817-1901) Poeta español.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a Dios, por darme la paciencia y por ayudarme a que esta investigación se haya realizado.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por la oportunidad de cursar mis estudios en sus aulas, y por todos sus conocimientos.

A la señora directora de la FMVZ: la Doctora María Elena Trujillo Ortega, por todo su apoyo brindado en la realización de este proyecto.

Se agradece de manera especial al Dr. José Juan Martínez Maya su ayuda y asesoramiento en el análisis estadístico y por sus sugerencias a este trabajo.

A la Doctora Nelly Villalobos y al Doctor Alejandro Vargas, por haber invertido su tiempo y dedicación a este trabajo.

A Miriam S. Landeros, por ser una parte muy importante en toda la investigación, por toda su ayuda, su paciencia y por su compañía.

Al equipo de trabajo de la Doctora Nelly: Miriam, Marisol, Leticia, Cynthia, Rebeca, Guadalupe.

A mi familia, que siempre ha estado conmigo, en mis malas decisiones y en las peores, siempre empujándome hacia adelante y demostrándome su afecto.

Al Doctor Ezequiel y a la Doctora Elizabeth del CEIEPAv, por las facilidades otorgadas para la realización de la fase experimental de este proyecto.

Al MVZ. Roberto Martínez Rodríguez por las facilidades otorgadas al proporcionarnos los materiales necesarios para el experimento, de igual forma por su férreo compromiso con la Universidad e interés por la formación profesional de los alumnos. Saludos cordiales.

“Todo tiene su tiempo, y todo lo que se quiere debajo del cielo tiene su hora”.

Eclesiastés 3:1

CONTENIDO

	Página
Resumen.....	1
Introducción.....	2
1.- Perspectiva general de la teniosis/cisticercosis.....	6
2.- Ciclo de vida de <i>Taenia solium</i>	6
3.- Diagnóstico de la cisticercosis porcina.....	9
4.- Epidemiología.....	10
5.- La inspección de la carne en rastros municipales de México.....	12
6.- El proceso de compostaje como método de eliminación de canales decomisadas por cisticercosis.....	16
6.1.- Características de los residuos a compostar.....	18
6.2.- Descripción del proceso.....	20
Justificación.....	27
Hipótesis.....	28
Objetivo general.....	29
Objetivos particulares.....	29
Material y métodos.....	30

Resultados.....	38
Discusión.....	41
Conclusiones.....	44
Referencias bibliográficas.....	45
Cuadros.....	52
Figuras.....	53
Anexos.....	54

RESUMEN

ESQUIVEL PÉREZ HABACÚC. Evaluación de la inactivación de cisticercos de *Taenia solium* en carne de cerdo bajo condiciones de compostaje (bajo la dirección de: Dra. Ada Nelly Martínez Villalobos y MC. Alejandro Vargas Sánchez)

La cisticercosis causada por el metacestodo de la *Taenia solium* puede afectar a diferentes tejidos del organismo del cerdo. Durante el periodo de 1992 a 1997, en rastros y mataderos de México, la presencia en canales de cerdo causó decomiso y obligó a almacenar en contenedores, canales u órganos contaminados para eliminarse mediante incineración o enterramiento. Un método alternativo para disponer de estos decomisos y otros desechos animales puede ser el compostaje, ya que provee las condiciones fisicoquímicas necesarias para inactivar y destruir diversos patógenos presentes en canales decomisadas. En el presente estudio se evaluó el compostaje con este objetivo, para ello se construyeron 7 pilas de composta en forma de cono invertido divididas en tres zonas, en cada una se colocó carne contaminada con cisticercos viables de *T. solium*. Además, se colocaron 12 cassette universales (4 por zona), con 10 cisticercos viables cada uno y 4 tubos con 10 cisticercos a temperatura ambiente como grupo control. Se realizaron muestreos a las 24, 36, 48 y 72 hrs, y se sometieron a la prueba de evaginación *in vitro*. El tiempo para inactivación total de los cisticercos fue de 48 hs. La carne quedó incorporada a la composta desde los 7 días. Las temperaturas se midieron durante las primeras 72 horas y cada 7 días, al graficar sus resultados, se observó una tendencia propia de los procesos de compostaje. No existió diferencia estadística ($p > 0.05$) entre la inactivación de cisticercos en las tres zonas de las compostas, así como entre las temperaturas alcanzadas en cada cuadrante dentro de la

composta ($p>0.05$), por lo que se consideró efectiva cualquier zona para la inactivación de cisticercos de *T. solium* viables.

Financiamiento: Este trabajo fue posible gracias al apoyo brindado por el Proyecto PAPIIT IN226611 y el Proyecto DEGAPA-IT-214311.

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 cerdo¹. En el hombre la cisticercosis se manifiesta como una enfermedad grave, cuando los parásitos se alojan en el sistema nervioso central (neurocisticercosis) y en el ojo (cisticercosis ocular). La cisticercosis humana se presenta en todo el mundo, pero es especialmente importante en las áreas rurales de los países en desarrollo, entre ellos los de América Latina. Su prevalencia es paralela a la del parásito adulto de *T. solium*.²

En general, la cisticercosis en los cerdos no se manifiesta en forma clínica, de hecho, las infecciones severas pasan muchas veces inadvertidas². Sin embargo, se puede observar hipersensibilidad en el hocico, parálisis de lengua y problemas en la respiración por la gran cantidad de cisticercos involucrados³.

La importancia que tiene la teniasis/cisticercosis como problema de salud pública radica en la relación existente entre el hombre y el cerdo como huésped definitivo e intermediario, respectivamente. Esta zoonosis es un problema de salud en México, tanto para el sector salud, como para la salud animal, que incluye aspectos económicos y sanitarios y se encuentra vinculada con la pobreza y la falta de educación en aspectos de higiene sanitaria.^{4,5,6}

La teniosis ocurre debido al establecimiento del estado adulto de *T. solium* en el intestino delgado del hombre.² La cisticercosis se debe al desarrollo del metacestodo en el tejido muscular, sistema nervioso y ojo del hombre y del cerdo.^{4,6}

Si bien la neurocisticercosis que es la presentación más grave de la enfermedad, no figura entre las causas más frecuentes de morbilidad y mortalidad humanas del México actual, pero si impacta gravemente en la salud del enfermo y al presupuesto de la salud pública por tratarse de una enfermedad crónica que requiere de instrumentos diagnósticos costosos, e inversión debido al pago de honorarios, consulta e internamientos múltiples y cirugía de cráneo.^{7,8}

El cerdo es el huésped intermediario, por lo tanto vital, para mantener el ciclo de *T. solium*.⁴ Por tal motivo, las canales de cerdo con presencia de metacestodos no deben ser consumidas. Los animales que son sacrificados en rastros municipales que no operan bajo la supervisión directa de la Secretaria de Salud y en los que no existe la inspección sanitaria, pueden llegar a comercializarse canales contaminadas con cisticercos¹, y en caso de ser decomisadas, estas son incineradas o almacenadas en contenedores para su destrucción futura, sin embargo, muchas veces los desechos sobrepasan la capacidad de los contenedores, quedando material orgánico expuesto a la fauna nociva que actúa como vehículo para dispersar restos que son fuente potencial de contaminación.

Para controlar esta forma de transmisión, se ha propuesto la utilización del 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 por encontrarse contaminadas con cisticercos, en cualquier rastro municipal del país.

En los últimos años, el proceso del compostaje se ha utilizado exitosamente para el manejo rutinario de eliminación de canales, y en casos de mortalidades elevadas en granjas de aves y cerdos, donde se ha identificado como el método preferido para la disposición de los

cadáveres en granjas.⁹ 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.¹⁰

Para evitar que el ciclo de *T. solium* se complete, se han buscado diferentes métodos de inactivación de metacestodos en carne de cerdo. Nava y colaboradores realizaron un estudio en el que sometieron trozos de carne contaminada con cisticercos a diferentes temperaturas y tiempos de exposición encontrando que a los 5 y 10 minutos a una temperatura estable de 80°C, en la Ciudad de México a 2200 mts sobre el nivel del mar, la gran mayoría de cisticercos dejan de ser viables y en 15 minutos en las mismas condiciones, el 100% de los cisticercos pierden totalmente su viabilidad, por lo tanto dejan de ser infectantes, siendo este proceso una alternativa para interrumpir el ciclo.¹¹

Sin embargo, la normatividad en México, establece la destrucción de las canales de cerdo contaminadas con cisticercos. Por lo que, en el presente trabajo, se estudiará la capacidad de inactivación y/o destrucción de cisticercos o metacestodos viables de *T. solium* obtenidos de canales de cerdos infectados, las que se someterán a las temperaturas generadas durante el proceso de compostaje, se evaluará también, la determinación del tiempo necesario en horas o días para alcanzar dicha inactivación y/o destrucción de los cisticercos.

1.- Perspectiva general de la teniosis/cisticercosis.

En México, al igual que muchos países subdesarrollados del mundo, existen los escenarios y condiciones para la transmisión de la enfermedad, tales como fecalismo al aire libre y cerdos no confinados los cuales suelen alimentarse de materia fecal que encuentran al estar deambulando en las calles, falta de drenajes y redes de agua potable para la higiene personal de la población, insuficiente inspección sanitaria de la carne que se consume y falta de educación para la salud.^{1, 11}

Todos estos factores permiten que el parásito causante de esta enfermedad encuentre los medios adecuados para continuar su ciclo de vida.

2.- Ciclo de vida de *T. solium*.

La *T. solium* se aloja en el intestino delgado del hombre, único huésped definitivo. El hombre se infecta cuando consume carne de cerdo cruda o insuficientemente cocida que contiene metacestodos viables, que posteriormente evaginan y se adhieren a la mucosa del intestino delgado, y después de tres a cuatro meses de la infección, se comienza a eliminar proglotidos maduros conteniendo huevos infectantes.^{1, 3, 4} Los proglotidos salen con las heces, generalmente en cadenas de 4 a 5 segmentos y no abandonan la masa fecal.^{3, 12, 13}

El cerdo se infecta al ingerir materia fecal que contiene huevos y proglotidos grávidos, proveniente de una persona portadora del parásito adulto, y se desarrollará en él la fase larvaria, que son los cisticercos o metacestodos de *T. solium*. En el estómago, los huevos pierden sus envolturas, así como en el intestino delgado, por acción de las sales biliares y enzimas proteolíticas, las oncosferas o embriones hexacantos se activan y atraviesan la

mucosa intestinal. Por vía sanguínea o linfática son distribuidos a una gran variedad de órganos y tejidos (tejido subcutáneo, músculo esquelético y cardiaco, encéfalo, ojos y con menor frecuencia, vísceras) para desarrollarse los cisticercos o metacestodos de *T. solium*.^{1, 2, 3, 6, 12}

El ciclo se completa cuando el ser humano ingiere cisticercos viables presentes en la carne cruda o insuficientemente cocida proveniente de un cerdo con cisticercosis. Una vez fijado, el parásito crece y se diferencia hasta convertirse en una *T. solium* adulta productora de proglotidos grávidos.^{3, 6, 12, 13}

Además del cerdo, pueden ingerir proglotidos grávidos o huevos los carnívoros silvestres y perros coprófagos, los cuales también pueden albergar al metacestodo, pero no tienen importancia en la transmisión de la parasitosis, ya que en ellos no continúa el ciclo a menos que se llegue a ingerir su carne infectada.^{1, 2, 3, 14}

El hombre puede ser hospedador intermediario. En un entorno poco higiénico, adquiere la infección por ingerir huevos de *T. solium*, por medio del consumo de los alimentos, principalmente frutas y verduras crudas e insuficientemente lavadas.^{2, 3} También por autoinfestación externa, es decir, contaminación de las manos con materia fecal que contienen huevos de *T. solium* o la autoinfestación interna, señalada por algunos autores sin demostración experimental,³ cuando algunos proglotidos regresan al estómago a consecuencia de violentos movimientos antiperistálticos, con lo que la digestión libera la oncosfera. Todas estas vías pueden ocasionar que se desarrolle la cisticercosis, la cual se localiza generalmente en el encéfalo y en el ojo. Estas localizaciones pueden causar trastornos que inhabiliten al paciente para llevar una vida productiva.^{1, 3, 6, 12}

Existe una clasificación de los metacestodos de acuerdo a su aspecto macroscópico que son: vesiculares, coloidales, caseosos y calcificados.¹⁵

Los que son infectivos son los de tipo vesiculares y tienen un tamaño hasta de 0.4 a 0.6 x 0.9 a 1.8 cm. Son fácilmente separables del tejido muscular y en su interior se distingue una estructura redonda blanca rodeada de líquido translúcido que corresponde al escólex armado. Al colocarlos en solución salina con 10% de bilis de cerdo a temperatura de 37° C estos evaginan y el escólex con su cuello se mueve activamente buscando donde fijarse.^{1,3,}
12

Los metacestodos coloidales presentan una cápsula más gruesa y un líquido más espeso y turbio. Están más adheridos al tejido del huésped, son más difíciles de separar. Solo un porcentaje de estos llegan a evaginar.¹

Los metacestodos caseosos ya no presentan líquido en su interior, en su lugar, al corte aparece una masa caseosa que puede contener ganchos y sales de calcio, estos metacestodos ya no evaginan. Este proceso es menos intenso en cerdos que en los seres humanos. En los metacestodos calcificados, el parásito se ve reducido a un nódulo calcificado totalmente, de coloración blanquecina al corte y envuelto en una cápsula de tejido conectivo de espesor variable.^{1,2}

Aluja y Vargas, en 1988, realizaron una clasificación microscópica de los cisticercos, en grados de degeneración, de acuerdo al infiltrado celular que se observa en la reacción inflamatoria y que va del 0 al 6,¹⁶ en donde los grados de mayor degeneración, corresponden a cisticercos caseosos y calcificados, los cuales, en caso de ser consumidos a través de la carne, no causarían daño a la salud del hombre.

3.- Diagnóstico de cisticercosis porcina

Para realizar el diagnóstico de cisticercosis en cerdos vivos, se efectúa un examen de la lengua, para detectarlos en forma directa en la superficie inferior. Es un método traumático para el animal y desgastante para quien lo realiza. Además, la sensibilidad del método es baja.¹

En algunas zonas del Estado de México y Guerrero, los compradores rurales de cerdos cortan el músculo masetero de los animales vivos como alternativa cuando no encuentran cisticercos en la lengua sin usar anestesia, lo que se considera inaceptable.^{1,17}

Se han utilizado las pruebas de ELISA y Western blot para el diagnóstico en humanos y se ha encontrado que esta última tiene una sensibilidad y especificidad adecuada, sin embargo, estos métodos no son aplicables por ser costosos y laboriosos.^{18,19} Otros métodos utilizados para el diagnóstico son las técnicas de imagenología (tomografía computarizada y resonancia magnética). Estas técnicas se han utilizado con fines de investigación, pero no son factibles como procedimientos de rutina, por el alto costo y por los problemas técnicos para aplicarlo en la especie porcina.²⁰

Puede hacerse uso de la ultrasonografía como un método preciso y confiable, ya que facilita la detección de los cisticercos en la musculatura de los cerdos, sin embargo, la desventaja de esta técnica, es el traslado del equipo al campo, rastros y mataderos, y su costo muy elevado, cuestión que puede hacerlo menos viable.²¹

En los rastros, el diagnóstico *post mortem* de la cisticercosis es el más utilizado, se lleva a cabo por medio de un corte doble de los músculos tríceps y ancóneo, así como en el masetero del lado derecho, que exponen una superficie suficiente para clasificar como

positiva o negativa la canal. La eficacia de esta rutina es dudosa, ya que al cortar una sola región existe la posibilidad de que no se detecten los cisticercos en las canales contaminadas.^{3,21}

Vargas, en 1986, estudió los lugares de predilección de los cisticercos en el cuerpo de los cerdos, encontrando en orden decreciente de infección los siguientes músculos: maseteros, pterigoideos, tríceps, lengua, espaldilla, corazón, pierna, lomo, falda e intercostales. Además pueden localizarse en el SNC, en el corazón, ojo, útero, linfonodos y otras vísceras,²² por lo que la inspección en estos grupos musculares y órganos, podría generar una mayor detección de metacestodos, y por lo tanto excluir estas canales del comercio cárnico.

4.- Epidemiología

Los estudios epidemiológicos de la cisticercosis porcina han mostrado que a mayor edad de los cerdos, mayor tasa de cisticercosis, con un pico máximo a los 11 meses, probablemente como consecuencia de la mayor exposición al parásito, aunque se ha demostrado que a partir de los dos meses, ya se encuentran metacestodos en hígado, y de los cuatro a seis meses de edad en músculo.¹⁷ Se ha encontrado que un número mayor de lechones de dos meses se infectan en épocas de sequía cuando hace mucho calor.¹

En el anexo No.1 se presentan datos de decomisos por cisticercosis en plantas TIF del año 1992 al año 1997.^{1,17} Podemos observar una disminución de la presencia de metacestodos de *T. solium* en las canales de cerdo. Sin embargo, los animales que no llegan a estos rastros, son sacrificados en rastros y mataderos municipales y en la llamada matanza casera.

Durante los años de 1998 y 1999 se hicieron inspecciones de lengua en cerdos de comunidades rurales del Estado de Puebla y Guerrero, se encontró que entre 8% y 13% de los animales estaban infectados,¹⁷ y los cuales son sacrificados en los rastros y mataderos de las localidades.

Datos obtenidos por medio de la inspección de lengua de los animales vivos en diferentes áreas del país, indican que en el estado de Morelos, la prevalencia en varios pueblos es del 4 al 10%, habiendo algunos en los que se ha encontrado el 33%. En el estado de Puebla se ha informado una prevalencia del 14%. En el estado de Guerrero se han encontrado pueblos con una frecuencia de 5.6% y hasta 13%. En el Estado de México se han encontrado comunidades con un 20% de prevalencia.¹

La información disponible en los rastros de ciudades y en general de las localidades en las que se lleva a cabo una inspección sanitaria cuidadosa de las carnes, podría dar la idea falsa que la parasitosis está disminuyendo. Sin embargo, la razón por la que los grandes rastros sobre todo en aquellos de tipo inspección federal (TIF), la frecuencia de la cisticercosis porcina es prácticamente nula, se debe al hecho de que los cerdos que llegan a estos establecimientos, son criados bajo las más estrictas medidas de bioseguridad.¹⁷

Por lo que el proceso de compostaje puede ser utilizado como método alternativo para la eliminación de decomisos de canales de cerdo con presencia de cisticercos, en rastros y mataderos municipales, donde no exista algún método para la eliminación de sus decomisos y desechos generados durante el sacrificio.

A diferencia de otros métodos como incineradores y plantas de rendimiento, el proceso de compostaje requiere poca infraestructura y puede realizarse en cualquier tipo de espacio, lo que lo hace un método más factible para ser adoptado en estos establecimientos.

5.- La inspección de la carne en los rastros municipales de México

El propósito fundamental de la inspección de la carne debe ser la protección de la salud humana y animal contra los riesgos directos e indirectos.¹ Entre las medidas importantes para poder controlar y eventualmente eliminar de México la teniasis/cisticercosis figura sin duda una inspección sanitaria a conciencia en rastros y mataderos, de la carne de cerdo que se va a vender a los consumidores.

La NOM-194-SSA1-2004 establece que la distinción entre rastros y mataderos se define en función del volumen de matanza de los establecimientos considerando como rastro a todo establecimiento que faene –sacrifique– como mínimo 168 animales de ganado mayor (bovinos y equinos), 336 animales de ganado menor (cerdos, ovinos y caprinos), 5000 aves o una combinación entre las diferentes especies, semanalmente.²³

Se define como unidad de sacrificio o matadero a los establecimientos en los que se sacrifican y faenan animales para abasto, y que cuentan con la capacidad de sacrificio de menos de 28 cabezas de ganado mayor, o menos de 56 cabezas de ganado menor o menos de 1,000 aves domesticas por día.²³ cifras contradictorias teniendo como base el volumen de sacrificio en rastros y mataderos, situación que hace difícil la diferenciación entre uno y otro establecimiento.

En los rastros y mataderos las medidas de control en las canales de cerdo, para la identificación de diversas enfermedades y en particular para la detección de metacestodos

de *T. solium* comprenden la identificación de los cisticercos por medio de la vigilancia sanitaria, aseguramiento, decomiso de productos y destrucción, las cuales deben ser aplicadas en forma permanente por Médicos Veterinarios Zootecnistas certificados, o aprobados conforme a las disposiciones oficiales. Las medidas antes mencionadas deben realizarse en cada una de las canales, sus partes y sus órganos.²⁴

Las técnicas generales para detectar cisticercosis porcina en los rastros y mataderos son:

Antes del sacrificio, mediante la observación y palpación de la superficie inferior de la lengua de los animales.¹ sin embargo, este procedimiento pone en riesgo la integridad del inspector y el bienestar animal.

Después del sacrificio, mediante dos cortes de manera transversal en los músculos tríceps y anconeó, así como en el masetero, que debe ser inspeccionado después de haberlos cortado de manera que formen planos paralelos a la mandíbula y de tal forma que involucre toda su masa.²³

En corazón se debe practicar un corte longitudinal de la base hasta el vértice perpendicular al tabique intraventricular, exponiendo de esta forma los dos ventrículos, sus paredes y las trabéculas carnosas del miocardio.²³

Deben realizarse en lengua varios cortes para comprobar la no existencia de cisticercos, ya que para todas las zonas de inspección se establece como límite máximo la ausencia del parásito.²⁵

Se considera como no aptos para consumo humano, a los porcinos o a las canales, vísceras y cabeza en las que se confirme la presencia de cisticercos.²⁶ La NOM-009-ZOO-1994 y la

NOM-021-SSA2-1994, establecen que una canal con cisticercos es causa de decomiso. Los decomisos pueden ser órganos, la canal entera, o partes de la canal que no son aptas para el consumo humano, porque pueden ocasionar riesgo a la salud, por tanto se consideran como desechos sólidos que deben ser incinerados o ser enviados para su destrucción a la planta de rendimiento, conforme lo disponga el Médico Veterinario oficial o aprobado.^{23, 27, 28}

De igual forma el Manual de Evaluación de Riesgos de los Rastros y Mataderos Municipales del año 2006²⁷, indica que todas las canales, partes de las mismas, órganos y vísceras que como resultado de la inspección *post mortem* hayan sido declaradas no aptas para el consumo humano, deberán retenerse en condiciones de seguridad, a satisfacción del inspector, hasta que hayan sido marcadas, manchadas, desnaturalizadas o destruidas de alguna manera, con el propósito de quedar excluidos de la cadena de alimentación humana y asimismo impedir que dicha carne cause un problema de contaminación o ponga en peligro la salud humana o de los animales.²⁷

La incineración y el enterramiento son los métodos típicos que son los que marca la NOM-009-ZOO-1994 para la disposición de las canales contaminadas con cisticercosis y otros patógenos en los rastros²⁸, que en México suman un total de 1,151 a nivel nacional, de los cuales 913 son Municipales, 141 privados y 97 TIF.²⁹

En un estudio realizado en el 2006 por la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS)²⁷, conjuntamente con la Dirección General de Promoción de la Salud, se diseñó un cuestionario para ser aplicado a los rastros que se presume proveen carne a localidades con más de 50,000 habitantes, con la finalidad de conocer el estatus sanitario del proceso e inspección de la carne y de cada etapa del proceso del

sacrificio de los animales. Registraron en total 306 establecimientos dedicados a la matanza de animales de abasto con esta característica. Se observó que un promedio anual del 18% del sacrificio de bovinos, ovinos, caprinos y porcinos se efectúa en establecimientos con riesgo sanitario alto o muy alto.²⁷

Respecto a la inspección de la carne, los resultados obtenidos indicaron que los Médicos Veterinarios son los que efectúan esta tarea en un 80% de los rastros. Un porcentaje muy bajo de los rastros emplean a Médicos Veterinarios como los responsables sanitarios para estar a cargo de la totalidad de la inspección sanitaria.²⁷

En los mataderos donde se realiza la inspección sanitaria, también son los Médicos Veterinarios los que tienen a su cargo la mayor parte de la vigilancia, aunque, aproximadamente el 40% de los casos, o no se realiza inspección por Médicos Veterinarios o esto se realiza parcialmente por personal no certificado.²⁷

Aunque la NOM-194-SSA1-2004 establece que los rastros deberán contar con horno incinerador de capacidad suficiente para la disposición final de los productos rechazados, para el manejo de los decomisos y demás desechos orgánicos derivados de la inspección *post mortem* y del proceso del faenado, solamente el 44% de los rastros y el 33% de los mataderos incluidos en este estudio, incineran las vísceras y canales decomisadas.^{23,27}

Como consecuencia de lo anterior, aproximadamente el 65% de los decomisos y otros desechos orgánicos son eliminados en basureros, barrancas o ríos, estimándose que el vertido diario sin incinerar asciende a 16.25 toneladas diarias en 184 de los 306 establecimientos comprendidos en el estudio.²⁷

Esta es una clara visión de las carencias que padecen muchos de los rastos que operan en el país, en infraestructura y en caso de contar con ella, en muchas ocasiones no están en funcionamiento, situación que se relaciona con el tiempo que tienen de haber sido construidos.²⁷

6.- El proceso de compostaje como método de eliminación de canales decomisadas por cisticercosis.

El compostaje de tipo aeróbico es el proceso biológico, que genera una reacción bioquímica que libera calor, bióxido de carbono y vapor de agua ^{30, 31}, en donde co-existe una interacción de diversas especies de bacterias, hongos y actinomicetos que facilitan los cambios bioquímicos que transforman la materia prima compostada.³² A su vez, las poblaciones de estos microorganismos se presentan en una sucesión cíclica de acuerdo a las condiciones del medio dentro de la pila en la composta como son la temperatura, humedad, porosidad y el pH.³¹

El compostaje promueve una sucesión microbiológica cíclica con la finalidad de descomponer 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.³³ Es decir, el calor permite que se estabilicen los desechos orgánicos inicialmente incorporados y se modifique la población microbiológica de la composta en donde durante la fase final, denominada de curado, se obtiene un producto con una reducida población de microorganismos patógenos viables y que presenta elevada utilidad para la agricultura.³¹

El nombre correcto de acuerdo a la Real Academia de la Lengua Española es “compost” y significa “humus” obtenido artificialmente por descomposición bioquímica en caliente de residuos orgánicos. En México se utiliza el término composta que el diccionario sitúa como un sinónimo de “composición” ya que proviene del latín “*componere*” que significa juntar.³⁰ Es una forma aceptada para la estabilización de residuos sólidos orgánicos y la forma más rápida para producir un fertilizante de origen orgánico de alta calidad.³¹

La composta es un material inodoro, estable y parecido al humus que se define como la capa superficial del suelo, constituida por la descomposición de materiales animales y vegetales, no presenta riesgo sanitario para el medio ambiente, y tiene una aceptación social elevada. Se produce bajo condiciones controladas, que recrean y favorecen las reacciones bioquímicas generadas por los microorganismos presentes en los materiales a compostar y cuando el proceso libera calor se aceleran las condiciones naturales de generación del humus.³⁰

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 céstodos y otras fases larvianas de parásitos no han quedado totalmente comprobadas.³⁴

El compostaje de la mortalidad animal se inició en la industria avícola en los Estados Unidos en la década de 1980 y pronto se extendió a las demás industrias.⁹ En México, a principios de la década de 1970 se construyeron las primeras plantas de compostaje; los objetivos de esa época, fueron los mismos que en nuestros días: contribuir a la disminución de la contaminación ambiental, realizar la eliminación de los residuos sólidos urbanos,

agrícolas y pecuarios, y mejorar la calidad de vida de las personas dedicadas a estas actividades.³⁰ En años recientes, el compostaje está siendo utilizado para el manejo diario de la mortalidad normal en las granjas, en los brotes de enfermedades de emergencia, principalmente en la avicultura, y en la eliminación de animales muertos por atropello.⁹

Este proceso tiene una duración variable en meses, dependiendo de la calidad –materia orgánica presente– de los residuos a tratar, el tamaño de la partícula, disposición de las pilas de composta, nivel de aireación y humedad así como de población biológica activa.³⁵

6.1.- Características de los residuos a compostar

Para poder establecer el proceso de compostaje, es necesario considerar algunos requerimientos físico-químicos de los materiales que serán utilizados como materia prima:

Relación Carbono-Nitrógeno

Una relación carbono-nitrógeno (C/N) óptima al combinar o mezclar materia prima para ser compostada, es de 25 a 30 unidades de carbono por una unidad de nitrógeno. El carbono y el nitrógeno son dos elementos esenciales para la nutrición de cualquier organismo vivo. Los microorganismos de una composta utilizan el carbono para producir energía y el nitrógeno para la síntesis de proteínas.^{9,30}

Estructura y tamaño de los residuos

Utilizando un diámetro de partícula entre 10 a 20 mm, se mejora significativamente el acceso para los microorganismos lo cuál a su vez reduce el tiempo del proceso de compostaje debido a su relación con la porosidad presente dentro de la pila de composta la que favorece la aireación.^{34,35} Los cadáveres pueden compostarse en trozos, aunque

también se pueden compostar cadáveres enteros, lo que genera un alargamiento en el proceso de biodegradación e incorporación a los materiales compostados.

Humedad

El rango de humedad más apropiado para una biodegradación acelerada (a diferencia de la fermentación natural) con franco predominio de la respiración aeróbica se sitúa en el orden de 50 al 70% de humedad relativa (HR). El contenido de humedad de la mezcla de compostaje, es una variable ambiental importante, ya que proporciona un medio para el transporte de los nutrientes necesarios para las actividades fisiológicas y metabólicas de los microorganismos. Valores reducidos de HR pueden provocar la deshidratación temprana, lo que detiene el proceso biológico.³¹

Nivel de acidez

Los cambios de pH durante el proceso de compostaje se deben a los cambios constantes en la composición química del sustrato, por la formación de dióxido de carbono (CO_2), amoníaco (NH_3) y debido a la formación de varios ácidos orgánicos de los cuales predominan el acético y el láctico. El rango de pH tolerado por las bacterias en general es relativamente amplio. Existen grupos de microorganismos adaptados a valores extremos, no obstante el pH cercano al neutro (6.5 a 7) ligeramente ácido o ligeramente alcalino, asegura el desarrollo favorable de la gran mayoría de especies bacterianas.^{36, 37}

La estricta aplicación de estos principios muchas veces no es posible que se encuentren en una pila de composta, ya que puede contener un animal de gran tamaño, materiales a compostar con alto contenido de humedad, baja relación C/N, y alta porosidad, sin embargo, el proceso puede realizarse, aunque se puede prolongar la aparición de los ciclos

térmicos o no presentarse, procesos de anaerobiosis, deshidratación temprana, por lo que su monitoreo debe ser constante.⁹

6.2.- Descripción del proceso

Son muchos los mecanismos que son conocidos y que están involucrados en la inactivación de patógenos durante el compostaje, como la exposición al calor, el antagonismo microbiano, la producción de antibióticos, la producción de ácidos orgánicos, amoníaco y la competencia por los nutrientes. La temperatura es considerada el factor más importante en la inactivación de patógenos y es relativamente fácil de medir durante el proceso de compostaje.^{9, 31, 34}

El compostaje aeróbico se caracteriza por el predominio de microorganismos aeróbicos y por la alternancia de etapas mesotérmica (10-40°C) con etapas termogénicas (40-75°C) así como con la participación de microorganismos adaptados a cada etapa.^{9, 31, 34, 38}

El logro del nivel de temperatura mínima es esencial para un proceso eficaz de compostaje. No solo el metabolismo microbiano es altamente dependiente de la temperatura, sino también la dinámica de las poblaciones de los microorganismos está influenciada drásticamente.³¹

El proceso de compostaje consta de cuatro fases o etapas:

Fase mesotérmica:

En esta fase se presentan valores de temperatura que van de los 10 a los 40°C, esta etapa comienza a partir de que se mezclan los ingredientes a temperatura ambiente y en donde los microorganismos mesófilos se empiezan a multiplicar, como consecuencia de la

actividad metabólica, la temperatura se eleva y se producen ácidos orgánicos que reducen el pH.³⁴

Mientras se mantienen las condiciones de aerobiosis actúan bacterias heterótrofas, mesófilas como: *Leuconostoc paramesenteroides*, *Pediococcus acidilactici*, *Staphylococcus piscifermentans*, *Bacillus coagulans* y *B.badius*, bacterias celulolíticas del género *Streptomices* conforme aumenta la temperatura y hongos como *Aspergillus flavus*, que predomina sobre *A. niger* y *A.terreus*. La participación de hongos se da al inicio de esta etapa y al final del proceso, en áreas muy específicas de las pilas de composta.^{39, 40, 41}

La actividad metabólica de los microorganismos incrementa paulatinamente la temperatura, por otra parte, la falta de disipación de calor favorece un mayor incremento de temperatura, lo que favorece el desarrollo de la microflora termófila que se encuentra en estado latente en los residuos.^{9, 31, 34}

Fase termogénica:

La actividad microbiana produce un incremento en la temperatura que va de los 40°C a los 75-80°C, atribuido a las oxidaciones biológicas exotérmicas, en esta fase es donde ocurre la descomposición más rápida de la materia orgánica, aunque se ha encontrado que las temperaturas óptimas de compostaje basadas en la mayor actividad de descomposición, se encuentran en el rango de 52 a 60°C.³¹

Las temperaturas superiores a los 55°C generalmente se alcanzan dentro de los primeros 5 días de la construcción de la pila. Se han observado temperaturas superiores a los 60°C dentro de los primeros 5 días en pilas de compostas elaboradas con mortalidad triturada de granjas avícolas.^{9, 10}

La microflora mesófila es sustituida por la termófila debido a la acción de Bacilos, algunos de ellos correspondientes a las especies *Bacillus coagulans*, *Bacillus badius*, *Viridibacillus proomii*, y *Gracilibacillus haloterans* y especies de actinomicetos celulolíticos termófilos como *Streptomyces*, *Thermomonospora*, *Thermobifida* y *Pseudomonas fluorescens*, que son de importancia por su capacidad de producir antibióticos, y hongos entre el que destaca *Aspergillus fumigatus* sobre *Aspergillus niger*.^{40, 41}

Normalmente en esta etapa se eliminan todos los organismos mesófilos patógenos, hongos, esporas, semillas de malezas y elementos biológicos indeseables.^{9, 40}

Algunas especies de *Bacillus* y *Pseudomonas*, poseen capacidad enzimática para degradar diversos componentes de la pared celular de ciertos hongos además, de una enorme variedad de derivados de los tejidos animales y vegetales, como la celulosa, almidón, pectinas y proteínas. El pH del sustrato en esta etapa se vuelve alcalino.^{34, 35}

Cuando en la composta se incluyen cadáveres, al transitar de la fase mesofílica a la fase termofílica, en las canales se produce una degradación anaeróbica de los tejidos animales por bacterias como: *Pseudomonas* spp., *Escherichia coli*, *Campylobacter jejuni*, *Clostridium botulinum*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp.⁴², entre otras, donde se liberan líquidos y gases de olor intenso como el sulfuro de hidrogeno (S_2O) y el amoniaco (NH_3). El sulfuro de hidrogeno generado es el resultado del rompimiento de la transformación de la materia orgánica por medio de bacterias en ausencia de oxígeno. Es un gas altamente venenoso. Por otro lado, el amoniaco es un gas de olor nauseabundo que se disuelve fácilmente en el agua y se evapora rápidamente. Ambos gases se disuelven en la fuente de carbono también llamado agente voluminoso, el cual es producido por las

bacterias aeróbicas degradan los hidratos de carbono hacia dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O), los cuales ya son libres de olores,³⁴ pero cuando se prolonga a la fase anaerobia, el producto principal es el metano (CH_4).

Para evitar o contrarrestar los olores de las etapas termófilas, se puede adicionar fuentes de carbono extras. Este carbono adicional absorbe los gases y actúa como un filtro biológico para evitar dejar escapar los olores de la pila,⁹ pero no modifica la liberación de gases, pues la formación de estos obedece a la presencia o ausencia de oxígeno.

Fase de Enfriamiento:

Cuando la pila de composta se mantiene sin movimiento alguno, la tendencia en la temperatura es de disminución, llegando de 40°C a 10°C , debido a que las bacterias aeróbicas tienen su fuente de nutrientes y oxígeno reducidos para su adecuado funcionamiento. En este momento, los tejidos blandos y los huesos pequeños han sido reducidos y ablandados respectivamente. Se encuentran especies bacterianas como *Sphingobacterium multivorum*, *Alloiococcus*, *Clostridium fervidus*, *Clostridium filamentosum*, *Alcaligenes* spp.^{9, 34, 41} Reaparecen los hongos mesófilos, y re-invaden el mantillo de la pila de composta, para descomponer la celulosa, predominan *Aspergillus terreus*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus* spp. Es importante determinar que los hongos tienen una gran habilidad de descomponer residuos orgánicos como la lignina, la hemicelulosa y la celulosa, siendo activos en la última fase del proceso de compostaje. El pH del medio desciende ligeramente.^{34, 40}

Fase de maduración:

Esta fase es muy estable en todos los aspectos considerados. La temperatura que se registra es semejante a la ambiental, el pH se encuentra en valores entre 7 y 8, los cambios en las comunidades bacterianas son reducidos, encontrándose géneros bacterianos de la fase anterior, además de *Arthrobacter* spp., que producen reacciones secundarias de condensación y polimerización del humus. La temperatura, humedad, estabilidad de la materia orgánica y la competencia microbiológica son los factores clave que influyen en el rebrote de los agentes patógenos.^{30,34,41}

Dado que la inactivación de patógenos está dada en función de la temperatura y la duración a la exposición, se debe asegurar que la etapa termogénica se prolongue el mayor tiempo posible. La exposición a una temperatura media de 50 a 60°C durante un par de días suele ser suficiente para matar a la gran mayoría de patógenos entéricos.^{9, 31} Una vez que la temperatura comienza a descender, se debe realizar el volteo de la pila de composta, para suministrar oxígeno y agua necesaria, ya que la temperatura alcanzada por la pila de composta, está influenciada por la cantidad de oxígeno disponible para los microorganismos en el proceso. Cada vez que se mezcle habrá un descenso en la temperatura, pero esta volverá a subir cuando la composta se re-estabilice, lo que hace que las fases mencionadas puedan repetirse más de una vez.^{9, 10, 30, 34}

El volteo, además de proporcionar oxígeno, logrando con esto, evitar que se presenten procesos anaerobios dentro de la pila, sirve también para mezclar las capas exteriores de la composta, las cuales se mantienen con temperaturas inferiores a las de la masa central de la pila, estas zonas con bajas temperaturas se consideran subletales, no produciéndose la

inactivación total de patógenos. En los procesos periódicos de volteo, las capas externas de la pila deben ser expuestas a las zonas de alta temperatura, para que se realice la inactivación térmica de patógenos completa.^{9, 31}

Inactivación de patógenos por medio del compostaje

A pesar de la literatura disponible en el área del compostaje, se han realizado muy pocos informes publicados en revistas específicas sobre compostaje de la mortalidad respecto a la destrucción de patógenos. Se han realizado algunas evaluaciones microbiológicas al final del proceso con el objetivo de verificar la inactivación de patógenos de interés veterinario, humano y agrícola.^{9, 38}

Se ha determinado que el virus de la Influenza Aviar en cadáveres de aves infectadas ha sido inactivado después de los primeros 10 días de compostaje.⁹ En otros estudios, el virus de la enfermedad de Newcastle sobrevive de dos a cuatro semanas cuando se encuentra en viales, expuesto solamente a la temperatura ambiental y aislado de las condiciones ambientales dentro de la pila de composta.⁹ El virus de la Encefalomiелitis Aviar, sobrevive de una a siete semanas, mientras que el virus de la enfermedad de Aujeszky es eliminado a 62°C durante 10 minutos.⁹ Bacterias de tipo entéricas como *Salmonella typhimurium*, *Salmonella enteritidis*, *Salmonella seftenberg*, *Pasteurella multocida*, *Listeria monocytogenes* y *Escherichia coli*, han sido evaluadas al ser inoculadas en tubos con medio de cultivo e introducidas a las pilas de compostas. Se ha encontrado que *Salmonella typhimurium* es eliminada dentro de los primeros seis días de compostaje. Es conocido que la temperatura de 55°C durante una hora es letal para los miembros de este grupo. A los 14

días dentro de la composta, no se pudieron recuperar las demás bacterias contenidas en los tubos con medio de cultivo.^{9, 10, 37}

La temperatura y tiempo de exposición para la eliminación de algunos patógenos de importancia son variables, por ejemplo *Shigella sp.*, y *Escherichia coli* presentan una temperatura de eliminación a los 55°C por una hora y en 15 a 20 minutos a 60°C, *Brucella abortus* y *Brucella suis* son eliminadas en una hora a temperaturas de 55°C y en tres minutos a 62-63°C, *Streptococcus pyogenes* es eliminado a 54°C durante diez minutos, *Corynebacterium diphtheriae* es eliminado a 55°C durante 45 minutos.^{37, 43}

Entamoeba histolytica presenta una eliminación en pocos minutos a 45°C, los huevos de *Ascaris lumbricoides* son destruidos en menos de una hora a temperaturas mayores de 50°C.^{37, 43} El calentamiento a 58.3°C es suficiente para matar las larvas de *Trichinella sp.*³

Estos datos nos dan una visión sobre los agentes patógenos que pueden ser destruidos a través del proceso de compostaje, el cual puede alcanzar temperaturas superiores (hasta 80°C), a las que son eliminados muchos patógenos, lo que nos sugiere que de la misma forma, pueden ser inactivados los cisticercos de *T. solium* permaneciendo expuestos a dichas temperaturas.

Justificación

El decomiso de canales de cerdo infectados con cisticercos o metacestodos de *T. solium*, adicionados a los demás desechos orgánicos generados a diario en los rastros municipales que son los que más prevalecen en la república Mexicana, sobrepasan la capacidad de los contenedores y fosas, diseñados para el almacenamiento de estos desechos, aumenta los insumos de los incineradores cuando se cuenta con ellos en estos establecimientos, originando que se tenga un manejo inadecuado de los desechos y que puedan quedar al acceso de la fauna nociva e incrementar los problemas de salud pública y del medio ambiente.^{1,2}

Es en estos rastros en los que se puede implementar el compostaje como un método más práctico para la eliminación de los decomisos y desechos diarios, ya que como se reviso en este trabajo, se ha demostrado que es factible eliminar la mayoría de los patógenos contaminantes en la canal, pero no hay suficiente evidencia sobre la capacidad del composteo para destruir o inactivar parásitos o fases intermedias de estos, como los metacestodos de *T. solium*. Pues como se hizo evidente los cisticercos pueden sobrevivir aun en condiciones muy adversas, es por ello que hace falta determinar la sobrevivencia de metacestodos de *T. solium* cuando se somete a compostaje carne de canales infectadas con estas fases parasitarias. Además de determinar si aun en áreas cercanas a la superficie de la pila de composta es factible conseguir condiciones suficientes para inactivar a los cisticercos.

Hipótesis

La liberación de calor generado en una pila de composta, en la que se colocan en su interior carne de cerdo contaminada con cisticercos durante el proceso de compostaje, es capaz de inactivar y/o destruir a los cisticercos viables de la *T. solium*.

Objetivo General

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.

Objetivos Particulares

- 1.- Evaluar la viabilidad de los cisticercos mediante la prueba de evaginación *in vitro*, en diferentes tiempos posteriores al inicio del proceso de compostaje.
- 2.- Monitorear los ciclos térmicos a diferentes profundidades de la pila de composta durante el proceso de compostaje.
- 3.- Encontrar la interacción de los ciclos térmicos del proceso del compostaje con la inactivación o destrucción de los cisticercos.

Material y métodos.

Localización.

El estudio tuvo tres sedes de experimentación, esto debido al acceso y disponibilidad de los materiales requeridos para realizar las pruebas experimentales.

Una primera sede fue el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Porcina (C.E.I.E.P.P), perteneciente a la FMVZ de la UNAM. Este centro está ubicado en el km. 2 de la carretera Jilotepec-Corrales, en Jilotepec Estado de México.⁴⁴ Por razones de bioseguridad, no se llevó a cabo ningún proceso de compostaje en esta sede. Solo se obtuvieron los materiales para realizar las compostas, como son: podas de pino y pasto, sólidos de excretas porcinas, materiales para la conformación de las pilas de la composta.

La segunda sede fue el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola (C.E.I.E.P.Av), perteneciente a la FMVZ de la UNAM, en un predio anexo al centro, de acceso restringido a 700 metros de las naves de aves en producción intensiva, el cual se localiza en la calle Salvador Díaz Mirón No. 89 en la Colonia Santiago Zapotitlán de la Delegación Tláhuac, Distrito Federal,⁴⁵ en este sitio se llevaron a cabo cinco de las siete pilas de composta del experimento.

La sede número tres fue la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México, en la Unidad de Aislamiento de Cerdos, en el espacio que comprende la azotea del edificio. Ubicada en el Circuito Exterior de Ciudad Universitaria, delegación Coyoacán, Distrito Federal,⁴⁶ en este lugar, se realizaron las dos últimas pilas de composta del experimento, además de que se obtuvo el material biológico que fue utilizado para todas las pilas.

Materiales para compostar:

Los materiales fueron: sólidos de excretas porcinas, recuperadas y desecadas por 24 horas provenientes del cárcamo de efluentes del C.E.I.E.P.P (pool de todas las áreas), pino molido (*Pinus* sp.) y pasto molido (*Lolium perenne*), proveniente de las podas de pinos que sirven de barreras naturales y áreas verdes del Centro respectivamente, además de agua.

Material biológico:

La carne de cerdo contaminada con metacestodos de *T. solium* que se emplearon en este trabajo, provenían de las canales de 34 cerdos criollos con una edad promedio de 8 meses, los que fueron inoculados por vía oral con 10, 000 huevos de *T. solium* y empleados para otro experimento. Después del sacrificio, se conservaron los grupos musculares donde se encontraron presentes metacestodos de *T. solium*, para el estudio de la viabilidad *in vitro*, solo se utilizaron cisticercos vesiculares (de acuerdo a la clasificación propuesta por Aluja y Vargas en 1988).

Carne contaminada con cisticercos:

Para la realización de este trabajo se construyeron 7 pilas. Por cada pila de composta se utilizaron 10 kilos de carne de cerdo que contenían cisticercos de *T. solium*. Los músculos fueron cortados en trozos de un peso de 300 gramos. Además de la carne, se colocaron en el interior de la pila de composta 12 cassettes universales con tapa para inclusión de piezas histológicas (BTL, Medical), en cuyo interior se introdujeron 10 cisticercos viables. Las paredes de las cápsulas son redes plásticas que permitieron la exposición directa a las condiciones ambientales dentro de la pila de composta en todo momento, pero que evitan la pérdida de los especímenes (cisticercos) durante el mezclado y volteo en los ciclos del

compostaje. A cada cassette se le fue fijada una guía de alambre galvanizado que sobresalió de la composta en forma horizontal para su identificación y retiro sencillo al momento de cada muestreo. Todos los cisticercos utilizados para esta parte del estudio provenían de los cerdos controles. Paralelamente se realizó la prueba de evaginación *in vitro*¹ de los cisticercos obtenidos en los que se obtuvo un 100 % de evaginación (datos no mostrados).

También se utilizaron 4 tubos de ensayo con 10 cisticercos viables en su interior y con 2 ml de Solución Salina Fisiológica (SSF) los que sirvieron de controles y se ubicaron afuera de la pila de composta, y que fueron evaluados conjuntamente con cada extracción de cisticercos de la composta.

Para la evaluación de las temperaturas (°C) en las etapas diferentes del proceso de compostaje, se utilizó un termómetro infrarrojo digital (Steren HER-425). Se tomó la temperatura durante las 24, 36, 48 y 72 horas así como a los 7, 14, 21, 28, 35 y 42 días posteriores al mezclado de los ingredientes (MI). También fue utilizado un Higrómetro (G.I.S. Ibérica HR001) para monitorear el nivel de humedad (HR) contenido dentro de las pilas de composta.

Proceso de compostaje:

Se construyeron 7 compostas en forma de cono invertido, realizada en 3 tiempos y ubicaciones diferidas. Cada composta se considero una repetición del experimento y tuvo un peso de 137.5 kg, constituido de la siguiente manera: 22.5 kilos de sólidos de excretas porcinas, 22.5 kilos de pino molido, 22.5 kilos de pasto molido (para este procedimiento se utilizo un molino de martillos, del que se obtuvieron partículas de un tamaño de entre 10 a

20 mm), 12 cassette universales con tapa con 10 cisticercos contenidos en su interior, 10 kilogramos de carne contaminada con al menos 10 cisticercos y 60 litros de agua.

Para el último bloque de compostas (dos pilas), los ingredientes fueron: 45 kilos de excremento de equino, obtenido de los desechos sólidos que genera el Departamento de Medicina, Cirugía y Zootecnia de Équidos de la FMVZ, 23 kilogramos de pino molido, 12 cassette universales con tapa con 10 cisticercos contenidos en su interior, 10 kilos de carne infectada con un mínimo de 10 cisticercos y 60 litros de agua.

Con una pala, se mezclaron el pino y pasto con los sólidos de excretas porcinas hasta generar una mezcla homogénea, cada mezclado consistió en 100 paladas, por cada dos mezclados se adicionaron 20 litros de agua. El agua fue adicionada gradualmente para que la mezcla de los ingredientes así como el nivel de agua fuera de forma homogénea en toda la pila de composta, se utilizó un higrómetro G.I.S. Ibérica, hasta que la mezcla de los ingredientes alcanzo una humedad del 70%.

Cada composta tuvo una forma de cono invertido y contó con una altura de 40 cm y un diámetro de 90 cm. Cada una fue dividida en tres zonas: zona 1, localizada en la parte más superior del cono a 10 cm debajo del vértice, alineado de acuerdo al eje de simetría del cono. La zona 2 ubicada en la parte central del cono a 20 cm de la base de la pila de la composta y zona 3 localizada en la parte más inferior a 10 cm de la base de la pila de la composta, de igual forma alineadas de acuerdo al eje de simetría del cono.¹⁰ (Anexo No.2). El cono fue conformado sobre una superficie plana y libre de pasto y maleza de 2 m² la cuál fue previamente cubierta con costales vacíos de plástico.

La circunferencia establecida por cada zona (Z1, Z2 y Z3), fue dividida en cuadrantes (A, B, C y D), mientras que en la parte más cercana al eje de simetría del cono se colocaron los cassette universales, uno por cuadrante, 4 por cada zona, totalizando 12 cassettes por composta, además de la carne que fue distribuida en cada uno de los 4 cuadrantes. (Anexo No. 3)

Muestreo:

A las 24 horas posteriores al inicio del experimento (IE), fueron retirados los cassette universales correspondientes al cuadrante A, de las tres zonas de la pila de composta, a las 36 horas, se obtuvieron las muestras del cuadrante B de las tres zonas, a las 48 horas, se retiraron las muestras del cuadrante C y a las 72 horas posteriores al IE, los cassette correspondientes al cuadrante D. (Anexo No.4)

Al mismo tiempo que fueron obtenidas las muestras de cada una de las 3 zonas de la pila de composta, se obtuvo el registro de la temperatura de cada una de ellas, y de la temperatura de la superficie del cono de composta y la humedad relativa. El mismo procedimiento se realizó para cada una de las pilas. De igual manera, para cada pila de composta, fue tomado un tubo de ensayo, que sirvió como la muestra control, el cual contenía 10 cisticercos viables mantenidos en Solución Salina Fisiológica el cual estuvo sometido a las condiciones medioambientales.

Prueba de Evaginación *in vitro*¹

Para la evaluación de la viabilidad de los cisticercos durante los muestreos realizados, se utilizó una solución compuesta por Solución Salina Fisiológica al 0.85% y bilis de cerdo, en una concentración 10:1, así como una estufa de cultivo eléctrica (Riossa MON), en la que se introdujeron las placas de Petri que contenían la solución y los cisticercos, lo que se incubaron 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.

Posteriormente se observaron a través del Microscopio estereoscópico binocular (Leica MZ75) y óptico binocular (Carl Zeiss) para evaluar el grado de incubación, así como su integridad anatómica.

Los muestreos de temperatura realizados los días 7, 14, 21 y 28 posteriores al IE, se obtuvieron en puntos equidistantes de la pila de composta. (A y C en sus tres zonas). Igual a los muestreos anteriores, se evaluó la temperatura y humedad. Una vez obtenidos los parámetros anteriormente mencionados, se procedió a realizar el volteo de las pilas de compostas, con el objetivo de homogenizar los materiales y adicionar oxígeno, y asegurarse que todas las zonas de la composta alcanzaran temperaturas elevadas.

Para determinar la aparición de las diferentes etapas del proceso de compostaje en el presente experimento, se consideró que la composta se encontraba en la etapa mesofílica cuando las zonas de evaluación registraron temperaturas entre 20 y 40°C, para la etapa termofílica se consideraron temperaturas entre los 40 y 80°C, temperaturas menores a 40°C para la etapa de enfriamiento, y valores de temperatura de 20°C o menos para la etapa de maduración o curado, ya que conforme reporta Liang *et al*, en 2003, las temperaturas

similares o inferiores a los 20°C se encuentran cuando el proceso de degradación de la materia compostada ha concluido.³¹ Una vez que las compostas del proyecto presenten temperaturas alrededor de los 20°C, estas se volverán a humedecer, esperando que su temperatura se incremente, en caso de que la causa de temperaturas bajas sea una deficiencia de humedad. En caso de no observar incremento en las temperaturas, se dará por concluido en proceso de compostaje.

Análisis estadístico

La prueba no paramétrica de homogeneidad de Ji-cuadrada⁴⁷, fue utilizada para analizar la correlación entre el número de los metacestodos viables de *T. solium* introducidos a las pilas de composta, así como los controles, con el número de cisticercos inactivados o destruidos recuperados en cada periodo de muestreo.

Para el análisis de las temperaturas, se utilizó la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov–Smirnov⁴⁷ para determinar que los datos obtenidos durante el experimento presentaron una distribución normal, en virtud de que se determinó dicha distribución posteriormente se utilizó el método de ANOVA (Análisis de Varianza) para determinar el comportamiento de las temperaturas de las zonas en que fueron divididas las pilas de compostas. Los datos fueron procesados mediante el paquete estadístico GraphPad InStat

Resultados

Proporciones de evaginación:

Con respecto al tiempo de los tratamientos, se observó que a las primeras 24 horas, no hubo diferencia en la proporción de supervivencia de cisticercos, sin embargo a las 36, 48 y 72 horas, la proporción de sobrevivencia de metacestodos fue similar al interior de las compostas. Las proporciones de evaginación fueron mayores en los cisticercos encontrados en el exterior de las pilas de composta ($p < 0.05$). (Cuadro No. 1)

Los muestreos programados para los días 7, 14, 21, 28, 35, 42, posteriores al inicio del proceso de compostaje, no se realizaron debido a que la carne ya estaba incorporada a los materiales de la composta (proceso de licuefacción), y fue imposible encontrar estructuras similares a los trozos de carne de 300 gramos o de metacestodos (vesículas, escólex) como se aprecia en el anexo No. 6

Inactivación de los metacestodos

Para la evaluación de la viabilidad de los cisticercos se realizó la prueba de evaginación *in vitro* (arriba descrita). Se observó que en el muestreo realizado a las 24 horas, los cisticercos de las tres zonas de la composta, así como los controles, presentaron un porcentaje de evaginación elevado, encontrando un 40% de evaginaciones para las zonas superficial e intermedia, 52% para la zona profunda y un 62% para el grupo control.

Para el muestreo de las 36 horas, se aprecia una disminución en la proporción de evaginaciones para las tres zonas internas de las compostas, observando el 10% para la

zona superficial, 12% para la zona intermedia, y 19% en la zona profunda. Contrario al grupo control, que presentó una proporción de evaginación de 62%.

A las 48 horas, los metacestodos de las zonas intermedia y profunda, extraídos de las pilas de composta, no presentan evaginación, las muestras de la zona superficial evaginaron en una proporción del 4%. Las muestras pertenecientes al grupo control presentan un porcentaje de evaginación de 38%.

Para las 72 horas, los metacestodos contenidos en los cassettes de la zona intermedia y profunda, no presentan evaginaciones, solo un 2% de los cisticercos de la zona superficial evaginaron, a diferencia de los metacestodos del grupo control que se mantuvieron bajo condiciones medio ambientales, y los que para este tiempo continuaron evaginando en una proporción de 12%. (Fig. No. 1). Los resultados fueron procesados mediante el paquete estadístico GraphPad InStat 3®.

Temperaturas

De acuerdo al registro de las temperaturas durante el periodo correspondiente a las primeras 72 horas del experimento, se observó que la tendencia de la temperatura fue similar en las tres zonas del cono de composta, a su vez, las temperaturas dentro de la composta (Z1-Z3) mostraron diferencia estadística en comparación a la temperatura de la superficie exterior de la pila ($p < 0.05$), la cual siempre se mantuvo por debajo de los niveles alcanzados al interior del cono.

Se observó que solo existió diferencia estadística en las temperaturas registradas en el periodo que corresponde a las 24 horas en las tres zonas de la composta con relación a las

temperaturas de los muestreos posteriores ($p < 0.05$), los cuales presentaron una tendencia de temperatura similar para las tres zonas, así como para la superficie exterior.

El cuadro No. 2 muestra los resultados de las temperaturas de los cuatro primeros muestreos, en donde 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, 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 resultados de los muestreos de temperatura de los días 7, 14, 21, 28, 35 y 42 mostraron una tendencia del proceso de compostaje, donde se observaron las etapas siguientes: mesotérmica ($10-40^{\circ}\text{C}$), termofílica ($40-75^{\circ}\text{C}$), enfriamiento (menos de 40°C) y maduración o curado como las describe la literatura (20°C o menos).^{9, 30, 31, 32, 34, 38}

Discusión

Inactivación de cisticercos de *T. solium*

No existen estudios similares respecto a la evaluación de la inactivación o destrucción de cisticercos de *T. solium* mediante las temperaturas generadas durante el proceso de compostaje, sin embargo se pueden evaluar nuestros resultados con los obtenidos por Aluja *et al.*, y Nava *et al.*, 2009, en los que se emplean los métodos físicos (calor) para la inactivación y/o destrucción de los cisticercos, en los cuales se ha evaluado la resistencia de los metacestodos de *T. solium* a métodos diversos de cocción.

Aluja *et al.*, en 1987 encontraron que sometiendo a un proceso de freído al menos durante una hora, rebanadas de carne no mayores a 5 cm de espesor, pueden inactivarse los cisticercos. La cocción prolongada en agua a punto de ebullición de carne de cerdo contaminada con cisticercos durante dos horas cuando menos, y en fragmentos no mayores a 5 cm, inactiva los metacestodos.

Por otro lado, en 2009, Nava *et al.*, encontraron que los cisticercos son inactivados 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 a las 48 horas, donde se presentó solo el 4% de evaginaciones en la zona superficial, y 0% para la zona 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).

Respecto a la supervivencia evaluada a tiempos determinados de los metacestodos de *T. solium* presentes en carne adobada y chorizo mantenidos a temperatura ambiental, Rivera *et al.*, en el 2004, observaron porcentajes de evaginación de hasta el 97.8% a las 12 horas.⁵¹ Estos resultados se pueden comparar por los obtenidos en este estudio, en el que podemos observar que a las 24 horas se presenta un 62% de evaginación en los controles que son los cisticercos que se encontraron expuestos a condiciones ambientales. Los cisticercos ubicados dentro de la pila de composta, presentaron menor porcentaje de evaginación.

Por lo que, los resultados de las temperaturas alcanzadas dentro de las pilas de composta, así como el tiempo de exposición (72 horas), son adecuadas para la inactivación de los metacestodos de *T. solium*.

Proceso de compostaje

Los resultados obtenidos en las temperaturas de nuestro estudio, muestran valores más elevados durante las primeras 72 horas de iniciado el proceso de compostaje, y son similares a los obtenidos en el 2007 por Wilkinson *et al.*, al utilizar canales de mortalidad de aves con influenza, siendo previamente sometidas a trituración en la que se incluye piel, hueso, plumas, etc, y en las que se registraron temperaturas superiores a los 60°C dentro de los primeros 5 días. En ese trabajo se demuestra la inactivación de patógenos (virus de influenza), y se observó que entre más pequeña es la partícula mas rápidamente se descompone y se aumenta la temperatura dentro de la pila de la composta. Este mismo autor y sus colaboradores, observaron que la temperatura en las zonas centrales de la composta es más elevada, en comparación con la capa externa del cono. De igual manera en este trabajo, aunque no se observaron los mismos resultados obtenidos por Wilkinson *et*

al, en el 2007, se siguió la metodología señalada en su investigación, por lo que nuestras pilas de composta fueron mezcladas de forma homogénea cada siete días, para garantizar que todas las zonas de las pilas formaran parte de la masa central de las compostas.

La temperatura de las pilas de composta del experimento, presentaron una disminución de la temperatura a partir del día 14 a 21. (Fig. No. 2). Resultados similares describen Wilkinson *et al*, en 2007, Christesten *et al*, en 2002 y Sánchez A *et al*, en 2011, en el que observan que la tendencia de temperaturas comienza a tener un descenso 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 en el experimento, siempre se mantuvo por arriba del 60%, que de acuerdo a investigaciones realizadas por Liang *et al*, en 2003, se considera como óptima para el desarrollo del proceso de compostaje de residuos sólidos. No se observó incremento de la temperatura. Resultado que coincide con investigaciones realizadas por Liang *et al*, en 2003 y Ciavatta *et al*, en 1997, donde en ausencia de incremento de temperaturas, el producto final del compostaje es considerado como maduro.

Christesten *et al*, en 2002 reporta temperaturas de hasta 75- 80°C en la etapa termofílica, en este estudio las temperaturas alcanzadas a las 48 horas fueron suficientes para lograr la inactivación de los cisticercos y su posterior destrucción e integración a la materia orgánica.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados encontrados por la realización de la investigación presente, se concluye lo siguiente:

Las pilas de composta elaboradas generaron temperaturas similares entre cada una de las repeticiones elaboradas por lo que, se considera que el procedimiento de compostaje ha quedado estandarizado para el caso de las pilas construidas con esas dimensiones y los materiales utilizados.

No existe diferencia estadística significativa de temperatura y de la capacidad de inactivación dentro de las pilas de composta, por lo que los cisticercos son inactivados y destruidos en cualquiera de las tres zonas de degradación de las pilas. La temperatura alcanzada en cualquier zona interna de la pila de composta resulta igualmente efectiva en inactivar a todos los cisticercos a partir de las 36 y hasta las 48 horas de iniciado el proceso.

El proceso de compostaje puede ser utilizado como una alternativa para eliminar la carne y las canales de cerdo contaminadas con cisticercos, así como los desechos que se generen a diario en el sacrificio de animales para abasto en rastros y mataderos que no cuenten con horno incinerador.

No se puede omitir que en la práctica tecnificada del compostaje, los procesos tienen una duración de 90 días o más, dependiendo de la calidad de los materiales compostados, tiempo suficiente para que, tanto los cisticercos como las canales, hayan sido degradadas e incorporadas al material orgánico resultante del proceso.

Referencias bibliográficas

- 1.- Larralde C, Aluja AS. Cisticercosis. Guía para profesionales de la salud. Secretaria de Salud Instituto Nacional de Salud Pública y Fondo de Cultura Económica. México D.F.2006; 104-127
- 2.- Acha N, Szyfres B. Zoonosis y Enfermedades transmisibles comunes al hombre y a los animales. 3ª ed. Organización Panamericana de la Salud, Washintong, D.C. 2003; 171-177.
- 3.- Quiroz RH. Cestodosis larvarias: Cisticercosis, cenurosis y equinococosis. Parasitología y enfermedades parasitarias de los animales domésticos. México D.F. ed Limusa. 2002; 335-348.
- 4.- Santamaria ME. Respuesta inmune humoral en cerdos infectados experimentalmente con diferentes cantidades de huevos de *Taenia solium* (Tesis de Maestría). México D.F. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM. 1999.
- 5.- Martínez M JJ. Dinámica de transmisión de la Teniosis/Cisticercosis (*Taenia solium*) en una comunidad rural del Estado de Guerrero, México (tesis de doctorado). México D.F. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM. 1999.
- 6.- Flisser A, Vargas L, Laclette JP. *Taenia solium*: un parasito cosmopolita. Investigación y Ciencia 2006;(356) 24-36.
- 7.- Del Brutto, O. Neurocisticercosis: actualización en diagnóstico y tratamiento. Neurología 2005; 20(8):412-418

- 8.- Instituto Nacional de Salud Pública. Estadísticas de egresos hospitalarios del sector público del Sistema Nacional de Salud, 2003. *Salud Pública de México* 2004; 46(5) 464-487.
- 9.- Wilkinson KG. The biosecurity of on-farm mortality composting. *Journal of Applied Microbiology* 2007; 102: 609-618.
- 10.- Christesten K, Carlsbaek M, Kron E. Strategies for evaluating the sanitary quality of composting. *Journal of Applied Microbiology* 2002; (92): 1143-1158.
- 11.- 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(002): 191-196.
- 12.- Cordero del C M. *Parasitología Veterinaria*. ed Mc Graw Hill, Interamericana. 1999; 493-495
- 13.- Soulsby EJ L. *Parasitología y enfermedades parasitarias en los animales domésticos*. ed Interamericana. 1987; 109-112
- 14.- Suja MS, Mahadevan A, Madhusudana SN, Vijayasarathy SK, Shankar SK. Cerebral cysticercosis mimicking rabies in a dog. *Vet Rec* 2003; 153(10):304-305.
- 15.- Escobar A. The pathology of Neuro-cysticercosis. en E. Palacios J. Rodríguez-Carvajal y J.M. Traveras (comps). *Cysticercosis of the nervous system*, Charles C. Thomas, Springfield.1983: 27-54
- 16.- Aluja AS de, Vargas MG. The histopathology of porcine cysticercosis. *Vet Parasitol* 1988; 28(1-2):65-77.

- 17.- Aluja AS de, Martínez V AN. Cisticercosis por *Taenia solium* en cerdos de México. *Vet Méx* 2000; 31(3):239-244.
- 18.- Sato MO, Yamasaky H, Sako Y, Nakao M, Nakaya K, Plancarte A, *et al.* Evaluation of tongue inspection and serology for diagnosis of *Taenia solium* cisticercosis in swine usefulness of ELISA using purified glycoproteins and recombinant antigen. *Vet Parasitol* 2003; 111(4): 309-22.
- 19.- Sciutto E, Hernandez M, Garcia G, De Aluja AS, Villalobos AN, Rodarte LF, *et al.* Diagnosis of porcine cisticercosis: a comparative study of serological tests for detection of circulating antibody and viable parasites. *Vet Parasitol* 1998; 78(3):185-194.
- 20.- Gonzales D, Rodriguez-Carbajal J, Aluja AS, Flisser A. Cerebral cisticercosis in pig studied by computed tomography and necropsy. *Vet. Parasitol* 1987; 26: 55-69.
- 21.- Herrera S, Aluja AS, Méndez A RE. El uso de la ultrasonografía para el diagnostico de la cisticercosis porcina. *Vet Méx* 2007; 38 (1):125-133
- 22.- Vargas MG, Saldierna U, Navarro FR, Acevedo A, Flisser A, Aluja AS de. Localización del cisticerco de la *Taenia solium* en diferentes regiones musculares del cerdo y su importancia para la inspección sanitaria. *Vet Méx* 1986; 17:275-279.
- 23.- Diario Oficial de la Federación. NOM-194-SSA1-2004. Norma Oficial Mexicana. Productos y servicios. Especificaciones sanitarias en los establecimientos dedicados al sacrificio y faenado de animales para abasto, almacenamiento, transporte y expendio. Especificaciones sanitarias de productos. México D.F. Secretaria de Salud. 18 de septiembre de 2004.

- 24.- Diario Oficial de la Federación. Reglamento de Control Sanitario de Productos. Título sexto, Carne y sus productos. 2ª sección. Secretaría de Salud. México D.F. 09 de agosto de 1999.
- 25.- Diario Oficial de la Federación. NOM-021-SSA2-1994. Norma Oficial Mexicana. Para la vigilancia, Prevención y Control del complejo Teniosis/Cisticercosis en el primer nivel de atención médica. México D.F. 21 de agosto de 1996.
- 26.- Diario Oficial de la Federación. Ley General de Salud. Capítulo 2. Enfermedades Transmisibles. México D.F. Última reforma publicada el 16 de Noviembre de 2011.
- 27.- Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. Evaluación de riesgos de los rastros y mataderos municipales. México. D.F: Secretaría de Salud. 2006.
- 28.- Diario Oficial de la Federación. NOM-009-ZOO-1994. Norma Oficial Mexicana. Proceso sanitario de la carne. México D.F. 16 de Noviembre de 1994.
- 29.- Sistema Integral de Información Agrícola y Pesquera (SIAP), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación: http://www.campomexicano.gob.mx/portal_siap/Integracion/EstadisticaBasica/Pecuario/Rastros/resras.pdf (Consultado el 29 de Febrero de 2012)
- 30.- Rodríguez M, Córdoba, Vásquez A. Manual de Compostaje Municipal. Tratamiento de residuos sólidos urbanos. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 1ª ed. 2006:63-66.

- 31.- Liang C, Das K, McCledon R. The Influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolid composting blend. *Bioresource Technology* 2003; (86): 131-137.
- 32.- Sánchez A. Conceptos básicos de gestión ambiental y desarrollo sustentable. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 1ª ed. México. 2011.
- 33.- Rickeboer J, Margaert J, Coosemans, Deprins K, Swings J. Microbial aspects of biowaste during composting in a monitored compost bin. *Journal of Applied Microbiology* 2003; (94): 127-137.
- 34.- 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.
- 35.- Cariello M, Castañeda L, Riobo I, Gonzales J. Endogenous microorganisms inoculant to speed up the composting process of urban swage sludge. *Journal of Soil Sc. Plant. Nutr* 2007; (3): 26-37.
- 36.- Castrillon O, Bedoya O, Montoya DV. Efecto del pH sobre el crecimiento de microorganismos durante la etapa de maduración en pilas estáticas de compost. *Producción+Limpia* 2006; (1): 87-98.
- 37.- Torres P, Madera C, Silva J. Mejoramiento de la calidad microbiológica de biosolidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas. *Revista EIA. Escuela de Ingeniería de Antioquia* 2009; (11): 21-37.

- 38.- Ciavatta C, Govi M, Passoti L, Sequi P. Changes in organic matter during stabilization of compost from municipal solid wastes. *Bioresourse Technology* 1993; (43):141-145.
- 39.- Ramírez P, Cocha JM. Degradación enzimática de celulosa por actinomicetos termófilos: aislamiento, caracterización y determinación de la actividad celulolítica. *Rev. Perú. Biol* 2003; 10(1): 67-77.
- 40.- Tibayde M, Caracterización microbiológica del proceso de compostaje a partir de residuos azucareros. *Agronomía Trop* 2009; 59(3):309-319.
- 41.- Isshi K, Fukui M, Takii S. Microbial succession during a composting process as evaluated by denaturing gradient gel electrophoresis analysis. *Journal of Applied Microbiology* 2000; (89): 768-777.
- 42.- Signorini ML, Guerrero-Legarreta eI. Producción de aminas biogénicas en carne de bovino conservada con ácido láctico de origen químico y bacteriano. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 2009; 8(1):41-49.
- 43.- Déportes I, Benoit-Guyod JL, Zmirou D, Bouvier MC. Microbial disinfection capacity of municipal solid waste (MSW) composting. *Journal of Applied Microbiology* 1998; (85): 238-246.
- 44.- Huitrón A. Jilotepec. Monografía Municipal, Instituto Mexiquense de Cultura, Asociación Mexiquense de Cronistas Municipales. A.C., Toluca, Mex., 1999.
- 45.- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Tláhuac: Cuaderno de información básica delegacional. INEGI.Mexico.1992.

- 46.- Delegación Coyoacán. Anuario Estadístico del Distrito Federal elaborado por el INEGI. 2006.
- 47.- Wayne WD. Bioestadística: base para el análisis de las ciencias de la salud. Limusa 2006.
- 48.- Motulsky Harvey. Graphad InStat 3® (computer program) versión 3. San Diego California USA. 1998.
- 49.- Castro AJ, Matallana G, Echeverry S. Comparación de la flora microbiana a partir de dos metodologías para el tratamiento de residuos solidos domiciliarios en Garagoa, Boyacá. Revista Colombiana de Biotecnología 2009; 11(2): 114-125.
- 50.- Aluja AS de, Escobar A, Escobedo F, Flisser A, Laclette JP, Larralde C, *et al.* Cisticercosis. Una recopilación actualizada de los conocimientos básicos para el manejo y control de la cisticercosis causada por *Taenia solium*. 1ª Ed. Instituto Nacional de salud Publica y Fondo de Cultura Económica. 1987; 104-107.
- 51.- Rivera MI, Sánchez L, Rodríguez E, Martínez AN, Martínez JJ. Efecto de algunos agentes físicos y químicos sobre el metacestodo de *Taenia solium* presente en carne adobada y chorizo. Salud Pública de México 2004; 46: 425-429.

Cuadros

Cuadro No. 1. Proporción de evaginaciones de metacestodos de *Taenia solium* en pilas de compostaje a diferentes profundidades y tiempos.

	Horas			
Profundidad	24	36	48	72
Superficial	0.40 ^a	0.10 ^a	0.04 ^a	0.02 ^a
Intermedio	0.40 ^a	0.12 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a
Profundo	0.52 ^a	0.19 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a
Exterior	0.62 ^a	0.62 ^b	0.38 ^b	0.12 ^b

Diferencias en la proporción de evaginación por horas, con literales diferentes en la columna respectiva ($p < 0.05$)

Cuadro No. 2. Temperaturas de compostas a diferentes profundidades y tiempos.

	Horas			
Profundidad	24	36	48	72
Superficial	42.5 ^{aa}	44.5 ^{aa}	47.7 ^{aa}	49.1 ^{aa}
Intermedio	43.4 ^{aa}	46.3 ^{aab}	48.9 ^{ab}	48.5 ^{ab}
Profundo	42.4 ^{aa}	44.2 ^{abab}	48.4 ^{ab}	48.6 ^{ab}
Exterior	21.2 ^{ba}	34.5 ^{bb}	32.4 ^{bb}	35.8 ^{bb}

Diferencias en las temperaturas a la misma hora a diferentes profundidades, con literales diferentes en cursivas por columna respectiva ($p < 0.05$).

Diferencia en las temperaturas en los diferentes periodos de muestreo con literales diferentes en negritas por fila respectiva ($p < 0.05$).

Figuras

Figura No.1. Proporción de evaginaciones de metacestodos de *T. solium* en pilas de compostaje a diferentes profundidades y tiempos.

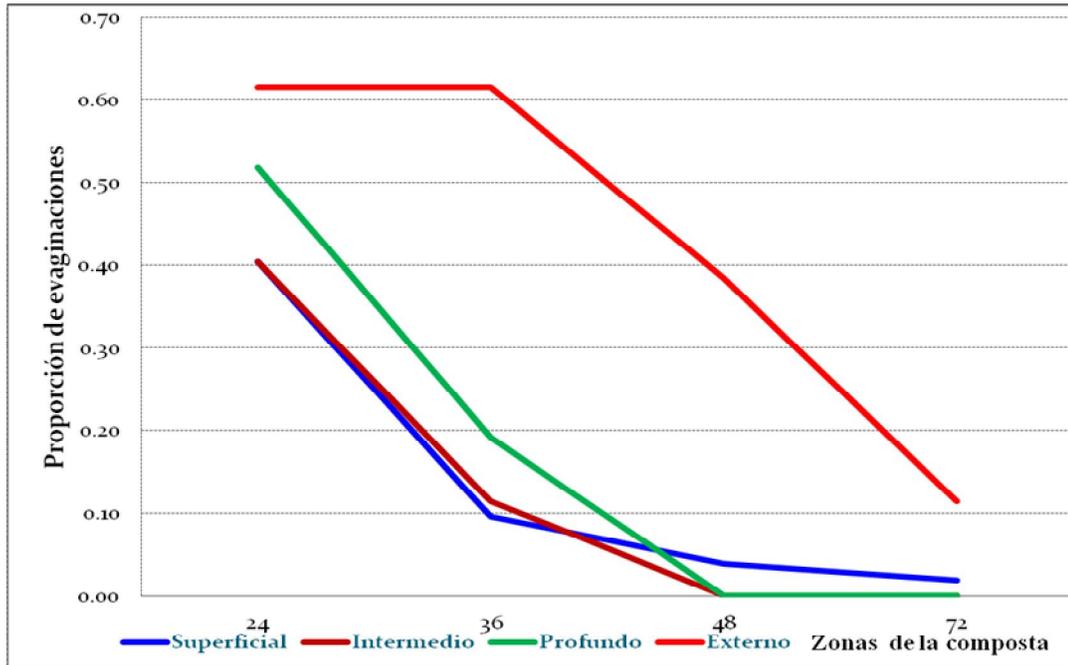
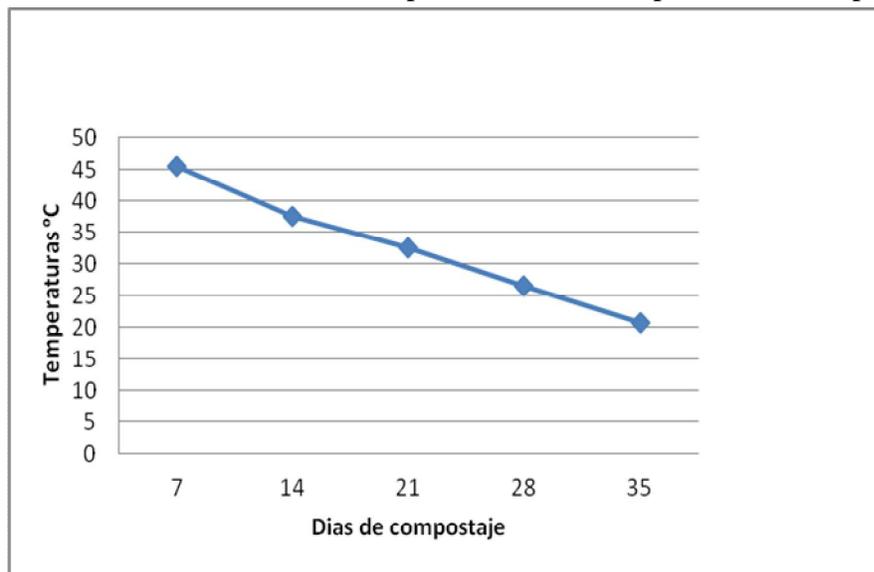


Figura No. 2. Disminución de la temperatura durante el proceso de compostaje.



Nota: Las temperaturas corresponden al promedio encontrado dentro de las tres zonas de degradación internas (Z1, Z2 y Z3) de la composta (n=7)

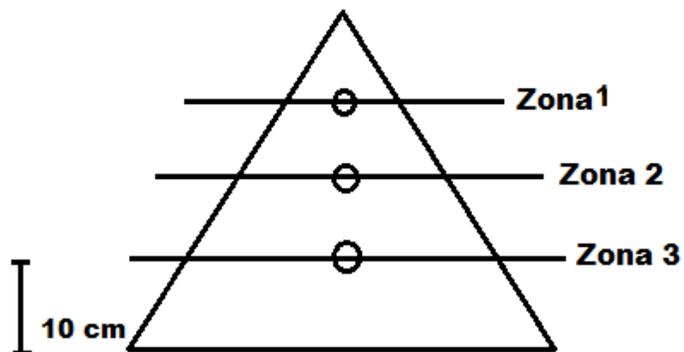
Anexos

Anexo No. 1. Decomiso global de canales y partes de cerdo en plantas TIF durante el período 1992-1997

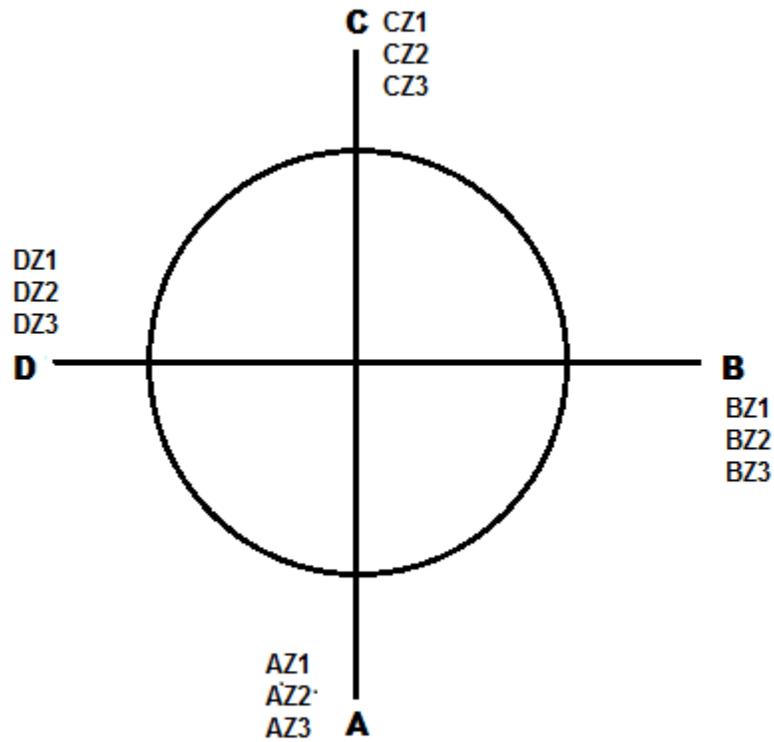
Año	Sacrificio total de animales*	Total de decomisos*	Decomisos por cisticercosis*
1992	1, 585, 297	76, 732	52
1993	2, 200, 532	76, 297	96
1994	2, 413, 946	1, 975	52
1995	2, 959, 878	58, 042	45
1996	4, 003, 582	27, 045	26
1997	3, 677, 554	8, 535	29

* Cabezas de ganado Fuente: *Vet Méx* 2000; 31(3):239-244.

Anexo No. 2. Esquema de una pila de composta donde se muestran las tres zonas en las que fue dividida.



Anexo No. 3. Vista aérea de la división en cuadrantes de cada zona de muestreo.



Anexo No. 4. Muestras obtenidas durante los diferentes periodos de muestreo

Zona de muestreo	24 horas	36 horas	48 horas	72 horas
Superficial	AZ1	BZ1	CZ1	DZ1
Intermedia	AZ2	BZ2	CZ2	DZ2
Profunda	AZ3	BZ3	CZ3	DZ3
Exterior	Control	Control	Control	Control

Anexo No. 5. Temperatura y tiempo de exposición para la eliminación de patógenos.

Organismo	Observaciones
<i>Salmonella typhosa</i>	Sin crecimiento por encima de 46°C, eliminación en 30 minutos a 55-60°C y en 20 minutos a 60°C
<i>Salmonella sp</i>	Eliminación en 1 hora a 55°C y en 15-20 minutos a 60°C
<i>Shigella sp</i>	Eliminación en 1 hora a 55°C
<i>Escherichia coli</i>	Eliminación en 1 hora a 55°C y en 15-20 minutos a 60°C
<i>Entamoeba histolytica</i>	Eliminación en pocos minutos a 45°C y en pocos segundos a 55°C
<i>Taenia saginata</i>	Eliminación en pocos minutos a 55°C
<i>Trichinella spiralis</i>	Eliminación rápida a 55°C e instantánea a 60°C
<i>Brucella abortus o Br. suis</i>	Eliminación en 1 hora a 55°C y en 3 minutos a 62-63°C
<i>Mycrococcus pyogenes var. Aureus</i>	Eliminación en 10 minutos a 50°C
<i>Streptococcus pyogenes</i>	Eliminación en 10 minutos a 54°C
<i>Mycobacterium tuberculosis var. homini</i>	Eliminación en 15-20 minutos a 66°C
<i>Corynebacterium diphtheria</i>	Eliminación en 45 minutos a 55°C
<i>Necator americanus</i>	Eliminación en 50 minutos a 45°C
<i>Áscaris lumbricoides</i>	Eliminación en menos de 1 hora a temperaturas mayores de 50°C

Fuente: Tchobanoglous G, Theisen H, Vigil S. Gestión integral de residuos sólidos. McGraw Hill: Madrid. 1994, citado en: Revista EIA 2009; (11): 21-37.³⁷

Anexo No.6. Tamizado de las compostas sin presencia de estructuras de cisticercos.

