

137

01666 24



Universidad Nacional
Autónoma de México

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACION
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**

**COMPARACION ENTRE DOS METODOS DE RECICLAJE DE EXCRETA
DE CERDO (ENSILAJE Y CULTIVO DE LARVA DE MOSCA) COMO UNA
ALTERNATIVA PARA LA RECUPERACION DE NUTRIMENTOS Y LA
DISMINUCION DE LA CONTAMINACION**

T E S I S

**PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS**

**PRESENTADA POR
M.V.Z. Ivonne Aubert de la Parra**

**ASESORES
Dr. German Borbolla Sosa
Dra. Julieta Ramos Elorduy
MC José Juan Martínez Maya**



**TESIS
FALLA DE ...**

MEXICO D.F.

1999



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

Tabla de contenido

	Declaración	i
	Dedicatoria	ii
	Agradecimientos	iii
	Resumen	iv
	Summary	v
	Tabla de contenido	vi
	Lista de cuadros y figuras	vii
	Introducción	1
	Impacto ambiental de la porcicultura en México	2
	Normatividad para el vertimiento de aguas residuales en granjas porcinas	4
	Métodos de tratamiento para los desechos de la industria porcina	5
CP	- Alternativas para el aprovechamiento de la excreta de cerdo	7
	Utilización de la excreta de cerdo como alimento	7
	Ensilaje de excreta	9
	Utilización de la larva de mosca como degradadora de la excreta	11
3	- Objetivo	16
4	- Hipótesis	17
5	- Materiales y Métodos	18
	Producción de larva de mosca	18
	Elaboración del ensilaje de excreta de cerdo	20
	Análisis químico-proximal	20
	Análisis microbiológico	21
	Análisis estadístico	22
6	- Resultados y Discusión	23
	Producción de larvas de mosca en excreta de cerdo	23
	Elaboración de ensilaje de excreta de cerdo	25
	Características nutritivas de la cerdaza biodegradada y del ensilado	27
	Análisis microbiológico	31
concl	- Conclusiones y Recomendaciones	32
bib	- Literatura citada	33

Lista de cuadros y figuras

Figura 1. Ciclo biológico de la mosca doméstica (<i>Musca domestica</i>)	43
Figura 2. Jaula de madera para la cría de moscas en ambiente controlado	44
Figura 3. Caja para la colecta de larvas de mosca	45
Cuadro 1. Microorganismos presentes en el inóculo comercial de bacterias acidificantes	46
Cuadro 2. Producción de larvas en 1 kg de excreta de cerdo a partir de la inoculación de 1 g de huevos de mosca doméstica	47
Cuadro 3. Análisis químico proximal de la larva de mosca cultivada en 1 kg de excreta de cerdo a partir de 1 g de huevos de mosca doméstica	48
Cuadro 4. Intervalo de temperatura y pH obtenidos en el ensilado de excreta de cerdo mezclado con sorgo y melaza al inicio (día 0) y al final (día 15) del proceso	49
Cuadro 5. Composición químico proximal de la excreta de cerdo utilizada como sustrato para la producción de larva de mosca o ensilada con sorgo y melaza	50
Cuadro 6. Resultados del análisis microbiológico realizado en excreta antes y después de ser aprovechada como ensilado o como sustrato para el desarrollo larvario de la mosca doméstica	51

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo comparar la efectividad para recuperar nutrientes por dos métodos de reciclaje de excreta de cerdo: A) Se utilizó excreta fresca como sustrato para el crecimiento de la larva de mosca (*Musca domestica*) y B) Fue ensilada con sorgo, melaza y un inóculo de bacterias ácido-lácticas durante 15 días. Cada uno de los tratamientos fue repetido durante 5 semanas (bloques) con 4 réplicas por bloque. Siete días después de la inoculación de 1g de huevo de mosca por kg de excreta, la producción de larvas fue de 43.25 g con un 30.75% de materia seca. En base seca, el contenido de proteína cruda, grasa, fibra cruda y cenizas en las larvas de mosca cultivadas fue de 14.8, 3.93, 2.55 y 1.70 g/kg, respectivamente. La degradación de la excreta por la larva aumentó ($p < 0.05$) el contenido de proteína, fibra cruda, nitrógeno no proteínico y cenizas respecto a la excreta fresca. Mientras que en el proceso de ensilaje los cambios fueron menores a los obtenidos por la larva: al final de los 15 días, la materia seca, fibra cruda, grasa, cenizas y el nitrógeno no proteínico se habían incrementado ($p > 0.05$) con relación a los valores observados previos al ensilaje, contrariamente, la proteína cruda, se redujo ($p < 0.05$). Al comparar los nutrientes producidos en la degradación (excreta más la larva de mosca) contra la excreta de cerdo ensilada se observó que se recupera un mayor aporte de nutrientes cuando se empleó la larva de mosca. El análisis microbiológico reveló que, tanto el proceso de ensilaje como la biodegradación de la excreta, disminuían o eliminaban la población de *E. coli*. Los beneficios aportados por la implementación del reciclaje de excreta de cerdo con larvas de mosca doméstica, se reflejan en un mejor aprovechamiento de éste subproducto y como consecuencia una considerable disminución del aporte de contaminantes al ambiente.

Summary

The objective of the present work was to compare two methods to recover nutrients at waste recycling: A) Biodegrading pig excreta by breeding house fly larvae on it and B) Ensilage with sorghum, molasses added with lactic bacteria.

Treatments were carried during five weeks (block) with four repetitions by block. Larvae production per kg of manure was 43.25 g, (30.75 DW) at seventh day after inoculating 1 g of fly eggs. Crude protein, fat, crude fiber and ash from fly larvae cultivated on pig excreta were 14.8, 3.93, 2.55 and 1.70 g/kg, respectively. Crude protein, crude fiber, NPN and ash in biodegraded excreta increased ($p < 0.05$) respect to pure excreta. The changes in the ensilage were less significant than those in the fly larvae method, after fifteen day the values of dry matter, crude fiber, fat, ash and NPN were higher ($p > 0.05$) went related to the initial ones, but. Crude protein was reduced ($p < 0.05$) during ensilaged method.

Nutrients produce by biodegrade manure plus fly larvae compared to manure ensilaged showed higher degree of nutrients. A microbiological analysis showed a significant reduction or total disappearance of *E. coli* in both methods.

The benefices of using fly larvae method to biodegrade pig manure are large and producers should be encouraged to use it in animal diets and in consequence we could be helping to reduce the environmental pollution.

Introducción

Se calcula que para principios del siglo XXI cerca de 6 mil millones de personas habitarán el planeta (Tyler, 1994), con lo que se incrementarán severamente algunos problemas ambientales, como la acumulación de desechos, la devastación del suelo y por ende, la pérdida de los ecosistemas provocando con esto, alteraciones del clima, del ciclo de agua y de los elementos químicos que constituyen la vida (Bolaños, 1990). Además de los problemas ambientales, el incremento en la población mundial ha aumentado considerablemente la demanda de alimentos tanto de origen animal como vegetal (Muller, 1980). Esta creciente demanda solo puede ser satisfecha mediante una más eficiente producción de alimentos de manera intensiva. Sin embargo, aunque la cantidad de producto se ha multiplicado, el espacio físico para producirlo ha ido disminuyendo progresivamente (Balconi, 1996).

En el sector pecuario una mejor eficiencia en la producción significa una mayor producción de alimentos de origen animal en menor espacio, con menor cantidad de recursos y a un menor costo (Campbell, 1996). En este sentido, tanto a nivel mundial como nacional, las industrias porcícola y avícola han incrementado el número de animales producidos en sus granjas, reduciendo al mismo tiempo, el número de días necesarios para su envío al rastro (Sagarnaga, 1997). Sin embargo, el aumento en la productividad de estas especies y particularmente en el caso del cerdo, ha incrementado la cantidad de desechos orgánicos generados (Pérez, 1994), provocando un impacto ambiental sobre los recursos agua y suelo (Taiganides, 1992). Este impacto se ve reflejado, además, en problemas de salud pública y cuestiones estéticas que originan repercusiones sociales y políticas que no siempre pueden ser cuantificables y que hacen necesario el desarrollo de estrategias para la disminución y aprovechamiento de los desechos (Schmidt, 1997).

contaminación ambiental (Echeaga, 1994), así como de salud en la población que tiene contacto con estas aguas (McCaskey, 1990).

En forma natural, la materia orgánica de las aguas residuales es degradada por la acción bacteriana, que requiere oxígeno para esta actividad (Arnaud et al., 1991). La cantidad de oxígeno necesario para esta degradación se conoce como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y se expresa en mg de oxígeno por litro de solución. El DBO es un criterio universal para medir la contaminación potencial del agua (Taiganides, 1996). Se calcula que debido al incremento en el número de animales, las descargas liberadas por una granja porcina rebasan la capacidad de degradación bacteriana dentro de los parámetros normales que, para aguas vertidas en suelos y cuerpos de aguas es de 200 mg al día (NOM-001-ECOL, 1996). Además, si se considera que el cerdo solo aprovecha el 29% del nitrógeno (N_2) y el 28% del fósforo (P) presentes en la ración, estos elementos se convierten en los principales elementos contaminantes de la cerdaza liberados al ambiente (Verstegen y den Hartog, 1998).

Los desechos de una granja porcina también son una fuente de contaminación del aire, ya que en su descomposición se producen gases como ácidos orgánicos (metano, amoníaco), alcoholes, aldehídos y mercaptanos (Crook y Robertson, 1991), además del amoníaco y sulfuro de hidrógeno, los cuales están involucrados en la formación de "lluvias ácidas" (Likens et al, 1979). En total se estima que una granja porcina produce entre 80 a 200 gases diferentes, muchos de los cuales resultan irritantes y tóxicos para los animales y los seres humanos (Rodríguez, 1997). Al igual que con el agua, la capacidad contaminante de los desechos porcícolas al aire, varía dependiendo de la ventilación, la composición de la ración y el sistema de drenaje de la granja (Verstegen y den Hartog, 1998); además, el aire juega un papel importante como vehículo en la transmisión de agentes patógenos que pudieran estar presentes en la excreta, tales como: *Salmonella spp.*, *Escherichia coli*, *Leptospira interrogans* y *Yersinia enterocolitica* (Viniegra, 1990), de importancia en la salud pública (Wathes, 1998).

Normatividad para el vertimiento de aguas residuales de granjas porcinas

En México, las leyes que regulan las descargas de aguas residuales porcinas han sido promovidas por diferentes Secretarías como: La Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), a través de la Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente y la Ley de Aguas Nacionales, junto con la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, a través de la Ley Federal de Derechos en Materia de Aguas y la Secretaría de Salud, con la Ley General de Salud. El cumplimiento de dichas leyes se regula mediante el establecimiento de las normas y reglamentos emitidos por estas dependencias (Armenta, 1995). La NOM-001 (NOM-001-ECOL-1996) establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y Bienes Nacionales y la NOM-002 (NOM-002-ECOL-1996) establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las descargas de aguas residuales vertidas a los sistemas de alcantarillado urbano y municipal. Con esta normatividad se pretende que para el año 2010 la industria porcina reduzca los niveles de contaminantes liberados al ambiente a 60 mg/kg de DBO, 60 mg/kg de N total y 30 mg/kg de P total. Si bien en la actualidad, cualquier porcicultor puede optar por el pago de derechos por descargas en cuerpos receptores propiedad de la Nación, el monto por este concepto por lo general supera el ingreso bruto por ventas de la granja, por lo que, al optar por esta forma de manejar los desechos, se estará pagando un alto costo de producción (Taiganides, 1996).

Desde 1993 los porcicultores del país, en un afán encaminado a ajustarse a la normatividad y evitar el pago de multas elevadas, han tratado de implementar tecnologías para el tratamiento de los desechos contaminantes producidos por sus granjas (Pérez, 1994). Esto ha estimulado la realización de diversas investigaciones orientadas hacia el desarrollo de sistemas de tratamiento de dichas descargas (Taiganides, 1992). Sin embargo, en la mayoría de los casos, la implementación de los sistemas propuestos es costosa, por lo que, aún son necesarias más investigaciones que logren un balance entre el riesgo ambiental producido y el costo económico que implicaría la utilización de los diferentes sistemas de tratamiento (Schmidt, 1997).

Métodos de tratamiento para los desechos de la industria porcina

En general, la aplicación de algún método para el tratamiento de las aguas residuales tiene como objetivo, reducir física y biológicamente la cantidad de sustancias que pueden contaminar el agua, el aire y el suelo (Dourmand y Milgen, 1998). Las aguas residuales provenientes de las granjas porcinas pueden ser divididas en una fracción sólida y otra líquida, las cuales son tratadas de diferentes formas. La fracción sólida de los desechos puede separarse por métodos físicos, utilizando rejillas, sedimentadores y los llamados separadores de sólidos, que logran remover la materia orgánica en suspensión en un 25 a 30% (Moser, 1997). Otros separadores de sólidos son las fosas por gravedad, los separadores de cascada y los tornillos prensa, los cuales requieren de una inversión inicial elevada con un requerimiento de energía adicional y un mantenimiento constante. Utilizando únicamente métodos físicos para el tratamiento de aguas residuales porcinas, se logra reducir solo del 20 al 25% de la DBO (Lo y Lau, 1993), siendo también difícil controlar la presencia de patógenos y de olores (Arndt y Day, 1979).

La fracción líquida puede ser tratada a través de métodos biológicos, cuando es almacenada en *lagunas aerobias facultativas*, donde se requiere la presencia de oxígeno disuelto para la activación de bacterias aeróbicas o anaerobias facultativas que degradan la materia orgánica y la transforman en biomasa, CO₂, metano y amoníaco (Burton et al., 1993). La aireación puede ser de forma natural por medio de la acción del viento y por el crecimiento de algas (Canizares y Dominguez, 1993; Olgún, 1994) o de manera mecánica donde se utilizan aereadores (Sweeten et al., 1995). La profundidad de la laguna no deberá ser mayor a 1.5 m por lo que se requiere una extensa superficie de terreno (Taiganides, 1992). Los líquidos pueden ser almacenados de 21 a 32 días y, posteriormente, ser utilizados para el riego agrícola (Osada et al., 1991)

La fracción líquida también puede ser almacenada en *lagunas anaerobias*, las cuales colectan, almacenan y descomponen los sólidos disueltos por acción de las microalgas y bacterias nitrificantes presentes, que remueven la materia orgánica (Noue y Bassees, 1989). Bajo este sistema se produce una descarga con una reducción del 75 al 80% de DBO, 25% de nitrógeno y fósforo, se controlan los olores y se tiene una reducción hasta en un 90% de patógenos (Moser, 1997). Las lagunas anaerobias se usan para el tratamiento y almacenamiento de aguas residuales, siendo utilizadas además, para la producción de biogás a partir de aguas residuales con menos de 2% de sólidos totales (Smith, 1981).

Producción de biogás y lodos anaerobios. La elevada concentración de sólidos en las aguas residuales bloquea la difusión de oxígeno y por lo tanto, impide la descomposición aerobia de la solución (Duarte et al, 1992), ocasionando que la materia orgánica contenida en las aguas residuales sea degradada en presencia de bacterias anaerobias en diferentes fases (Moser, 1997). En la primera fase, las proteínas, los carbohidratos y la celulosa son degradados y convertidos en ácidos grasos volátiles; láctico, acéticos, oxalacético y fórmico principalmente (Arnaud et al., 1991). En la segunda fase, estos ácidos son convertidos en metano y bióxido de carbono (biogás), por la acción de las bacterias metanogénicas (Ballester et al, 1992). Además del biogás producido, la degradación bacteriana de la materia orgánica produce los llamados lodos digeridos. Estos lodos pueden ser utilizados como "abono" o mejorador de suelos para uso agrícola o como fuente de nutrientes para otros organismos, como la cría de lombrices (Edwards, 1988) o como un ingrediente proteico utilizado para la nutrición animal (Liccaga, 1994).

Tratamiento químico. Este método se basa en la utilización de agentes coagulantes inorgánicos formados a partir de polímeros catiónicos, los cuales logran recuperar una gran cantidad de material disuelto a través de un proceso de coagulación-floculación, llamado biometalización (Sievers y Jenner, 1994). Con este sistema se produce una significativa cantidad de masa sólida y se reduce la cantidad de efluentes con compuestos orgánicos liberados al ambiente por la industria porcina (San Martín, 1997).

Alternativas para el aprovechamiento de la excreta de cerdo

Dentro de las alternativas que han sido utilizadas o que por su capacidad pueden ser empleadas para la recuperación de los nutrientes contenidos en la excreta de cerdo, se encuentran la utilización de la excreta de cerdo como alimento, el ensilaje de excreta de cerdo y la utilización de la larva de mosca como degradadora de la excreta.

Utilización de la excreta de cerdo como alimento

La recuperación de nutrientes a partir de la excreta de los cerdos y la reutilización de este subproducto conlleva a disminuir los costos de alimentación, reduciendo así, los costos de producción (Anthony, 1970). La excreta de cerdo se ha utilizado de manera directa (fresca) o como el producto de la separación de sólidos en la alimentación de los animales domésticos (Fontenot y Rodd, 1980). Estudios realizados por Kornegay et al. (1977) demostraron que la alimentación de cerdos con excreta fresca durante las etapas de crecimiento a finalización, aumentaba el consumo, pero disminuía la ganancia de peso y la conversión alimenticia. Contrariamente, en cerdas de reemplazo y cerdas gestantes la incorporación de 15% de cerdaza en la ración, disminuyó el consumo de alimento, sin embargo, no se encontraron diferencia en los parámetros reproductivos.

Tratamiento químico. Este método se basa en la utilización de agentes coagulantes inorgánicos formados a partir de polímeros catiónicos, los cuales logran recuperar una gran cantidad de material disuelto a través de un proceso de coagulación-floculación, llamado biometalización (Sievers y Jenner, 1994). Con este sistema se produce una significativa cantidad de masa sólida y se reduce la cantidad de efluentes con compuestos orgánicos liberados al ambiente por la industria porcina (San Martín, 1997).

Alternativas para el aprovechamiento de la excreta de cerdo

Dentro de las alternativas que han sido utilizadas o que por su capacidad pueden ser empleadas para la recuperación de los nutrientes contenidos en la excreta de cerdo, se encuentran la utilización de la excreta de cerdo como alimento, el ensilaje de excreta de cerdo y la utilización de la larva de mosca como degradadora de la excreta.

Utilización de la excreta de cerdo como alimento

La recuperación de nutrientes a partir de la excreta de los cerdos y la reutilización de este subproducto conlleva a disminuir los costos de alimentación, reduciendo así, los costos de producción (Anthony, 1970). La excreta de cerdo se ha utilizado de manera directa (fresca) o como el producto de la separación de sólidos en la alimentación de los animales domésticos (Fontenot y Rodd, 1980). Estudios realizados por Kornegay et al. (1977) demostraron que la alimentación de cerdos con excreta fresca durante las etapas de crecimiento a finalización, aumentaba el consumo, pero disminuía la ganancia de peso y la conversión alimenticia. Contrariamente, en cerdas de reemplazo y cerdas gestantes la incorporación de 15% de cerdaza en la ración, disminuyó el consumo de alimento, sin embargo, no se encontraron diferencia en los parámetros reproductivos.

El uso limitado de la cerdaza en la alimentación del cerdo se debe principalmente, a que los nutrimentos que contiene son aquellos que no fueron digeridos por esta especie (Salazar, 1994). Además, el perfil nutrimental de este subproducto varía dependiendo de la formulación y de los ingredientes utilizados en la dieta, así como de las pérdidas por volatilización y filtración durante su manejo y procesamiento (Campabadal, 1994). Similarmente, la composición de aminoácidos presentes en la excreta dependerá del tipo de dieta, la digestibilidad de la proteína y de la actividad sintetizadora de los microorganismos contenidos en el intestino grueso del cerdo (Vare, et al., 1987). Los bajos rendimientos observados en cerdos alimentados con cerdaza ha hecho que este subproducto no sea utilizado en las raciones de esta especie (Bhattacharya y Taylor, 1975).

En la alimentación de pequeños y grandes rumiantes, la cerdaza es una alternativa debido a la cantidad de nitrógeno no proteico (NNP) presente (Iñiguez y Cuarón, 1990), ya que éste junto con los nutrimentos provenientes de carbohidratos no digeridos son fácilmente aprovechados por las bacterias del rumen (Pérez y Viniegra, 1980).

En borregos en crecimiento, Ochoa y colaboradores (1972) sustituyeron 10, 20, 30 y 40% del total de la dieta con proporciones iguales de gallinaza y cerdaza y obtuvieron ganancias diarias de 205 g con conversiones alimenticias similares entre los diferentes porcentajes de sustitución. Sin embargo, el consumo de alimento disminuyó a partir del 20% de inclusión de estos subproductos en la dieta. Por su parte, Sutton (1990) reportó que es posible incluirla en un 18% como materia seca en la alimentación de ganado de engorda y hasta en un 30% como materia seca para el ganado lechero.

Ensilaje de excreta de cerdo

Un ensilado es el producto que resulta de la descomposición de materia orgánica vegetal o animal, en presencia de bacterias anaerobias (Woolford, 1984). Este proceso puede ayudar a mantener y mejorar la calidad de la cerdaza al mejorar las cualidades nutricias de este subproducto. Un buen ensilado debe contener de 65 a 70% de humedad (Rubio, 1995), además, el buen compactado del forraje o de la materia orgánica a ensilar favorecerá el crecimiento de bacterias anaerobias facultativas que transformarán los carbohidratos solubles en ácido láctico, que es el causante de la acidificación del ensilado y de su conservación (Fenton, 1987).

La excreta de cerdo presenta características deseables de humedad y contenido de materia orgánica, que la convierten en un ingrediente adecuado para ser ensilado (Chung et al., 1993). Sin embargo, para que puedan aprovechar la fuente de proteína presente, se recomienda adicionar grano o rastrojo de maíz (Archila, 1989) que permita un mayor aporte de carbohidratos solubles (Berger et al, 1981a), que favorezcan el desarrollo de bacterias anaerobias deseables en el ensilaje (Ramírez, 1990).

La adición de melaza, también aumenta la capacidad de fermentación de la excreta además de que, le da mayor palatabilidad incrementando así su consumo (Cobos, 1987). En estudios recientes (Rubio, 1995), se ha observado que la cerdaza secada durante 7 días y ensilada posteriormente con 30% de melaza, pierde menos cantidad de materia seca y conserva la misma cantidad de proteína y carbohidratos.

Sin embargo, para que los nutrimentos presentes en la excreta se mantengan durante el proceso de ensilaje, es necesario una adecuada fermentación bacteriana, lo cual implica la presencia de bacterias ácido-lácticas (*Leuconostoc spp* y *Streptococcus spp*) que son las que inician la fermentación ácida y crean las condiciones adecuadas para el desarrollo de *Lactobacillus spp* y *Pediococcus spp* (Cho et al., 1989).

La importancia de la presencia de bacterias ácido-lácticas durante el proceso de ensilaje, hace factible su aplicación de manera exógena en forma de agentes inoculantes que ayudan a una rápida fermentación. La proliferación de bacterias ácido-lácticas durante el proceso de ensilaje provoca cambios de pH y temperatura (Henry et al. 1983), reduciendo así la mayoría de los microorganismos patógenos presentes en la excreta (McCaskey, 1990). Aunado a esto, se ha demostrado recientemente (Gutiérrez, 1997), que la adición de melaza en niveles de 25 a 45%, mezclada con excreta de cerdo para la alimentación de bovinos, ocasionan una disminución del número de unidades formadoras de colonias de *Salmonella typhimurium*. Este efecto se debe, a la alta concentración de solutos de la sacarosa, que originan presiones osmóticas que afectan la viabilidad de dichas bacterias, disminuyendo la carga microbiológica de la mezcla.

Uso del ensilado de cerdaza en la alimentación del cerdo. Díaz y Díaz, (1988) compararon en cerdas de la raza Yorkshire durante la etapa de gestación y lactancia, 4 dietas basadas en: ensilado de excreta con la adición de melaza; ensilado de excreta, melaza y 10% de maíz; ensilado de excreta, melaza y 20% de maíz y una dieta control conteniendo 16% de PC y 4.18 Mj/kg de energía digerible. Estos autores reportaron que después de 105 días de gestación y durante la lactancia no existieron diferencias significativas entre las distintas dietas y el control.

En cerdos en crecimiento, la utilización de más de un 35% de ensilado de cerdaza en la dieta, provoca un efecto negativo en la digestibilidad del alimento (Salazar, 1994). No obstante, el empleo de cerdaza ensilada con una fuente de carbohidratos solubles como el grano de sorgo molido en un 25% y la adición de un 10% de melaza, favorecen una adecuada fermentación bacteriana en el ensilaje (Roja, 1984).

Utilización del ensilado de excreta en la alimentación de rumiantes. Iñiguez y Cuarón. (1990) observaron que en borregos alimentados con un ensilado de excreta de cerdo, sorgo y melaza, el consumo de materia seca y la ganancia de peso decrecían conforme se aumentaban los niveles de cerdaza del 22 al 44%. De igual manera, cuando se compararon dietas para borregos que contenían 75% de una dieta basal conteniendo 14% de proteína y 25% de ensilado de excreta de cerdo con maíz en una relación de 40:60 y 60:40, se observó que la utilización del nitrógeno de la proteína disminuyó conforme se incrementaba la cantidad de ensilaje de cerdo (Berger et al., 1981b). En otros estudios, donde se evaluó la inclusión de 0, 20 y 40% de ensilado de cerdaza en la alimentación de corderos para abasto, se pudo observar que aunque no hubo diferencias significativas en la ganancia diaria de peso, la eficiencia alimenticia de los corderos alimentados con un 40% de ensilado en la dieta fue superior (Meza et al., 1997).

Utilización de la larva de mosca como degradadora de la excreta

Al contener la excreta, gran cantidad de materia orgánica, muchos de los nutrientes presentes pueden ser aprovechados por organismos localizados en niveles bajos de la pirámide trófica, como serían, los moluscos, los gusanos de tierra y los insectos (Morgan et al., 1970). Estos últimos poseen la cualidad de utilizar la materia orgánica en descomposición como sustrato para el desarrollo de su etapa larvaria (Barnard y Harnis, 1992). En este sentido, se han realizado estudios tendientes a evaluar la capacidad de la larva de mosca doméstica (*Musca domestica*) en la utilización de la materia orgánica contenida en la excreta de las diferentes especies domésticas.

Calvert (1979) reportó que este insecto durante su etapa larvaria, es capaz de degradar el estiércol fresco del cerdo y convertirlo en un producto seco, granulado, inodoro y con una mayor concentración de minerales, los cuales pueden ser utilizados como fertilizantes. Andrade (1987) observó que la actividad de la larva de mosca sobre la excreta de cerdo da como resultado la estabilización de la materia orgánica y una disminución del olor, por lo que la digestión biológica de la excreta por medio de la larva de mosca puede ser una alternativa de tratamiento para este subproducto.

La capacidad de degradación de estos insectos dependerá de la cantidad de larvas por kg de excreta, el contenido de agua en la excreta, la humedad relativa, la temperatura del ambiente y el espesor de la capa de excreta (Calvert, 1979). Papp (1975) y El Boushy (1991) sugieren que para una óptima degradación de la excreta del cerdo por las larvas de mosca es necesario utilizar 0.5 a 1.0 g de huevo de mosca (1,000 – 2,500 huevos) por cada kg de excreta a una temperatura de 25 a 27°C, una humedad de 36% y 6 a 8 cm de profundidad del sustrato.

Empleo de diferentes sustratos para la producción de larva de mosca. Hernández (1993) comparó el nivel máximo de sustitución de excreta de bovino por excreta de cerdo para la producción de larva de mosca, encontrando que la relación 70% de excreta de cerdo y 30% de bovino era significativamente superior en comparación con una relación 50:50 de los mismos sustratos. Por su parte, Pérez (1991) evaluó diferentes sustratos para la producción de larva, logrando obtener 78 g/kg en excreta de cerdo sola; 243 g /kg en excreta de cerdo y harina de alfalfa; y 186 g/kg en excreta de cerdo y harina de pasta de girasol. La mayor producción de larvas se debió al aporte de proteína contenida en los otros sustratos, comparada con la presente en la excreta de cerdo.

Ciclo biológico de la mosca doméstica. La ventaja de utilizar larvas de mosca en la degradación de la excreta y la obtención de proteína larvaria podría estar dada en gran parte por el ciclo de vida relativamente corto de la mosca doméstica, el cual presenta 4 etapas de desarrollo: huevo, larva, pupa y adulto (figura 1). El promedio de vida de las moscas es de 20 a 30 días con condiciones ambientales controladas de 28 a 32°C de temperatura, 50% de humedad relativa, una relación luz/obscuridad de 18/6 o 24/0, una buena ventilación y la presencia de un sustrato atractivo para la oviposición (Zhemchuzhina y Chernysh, 1986). Las hembras copulan solo una vez y ovipositan 2.6 veces con un promedio de 96 huevos en cada ocasión. Sin embargo, la cantidad de huevos producidos y la frecuencia de oviposición están determinados por el tipo de alimentación que se le da a la mosca (Hogsette, 1996) y el fotoperíodo al que este insecto está expuesto (Metcalf y Flint, 1980).

La duración del ciclo dependerá principalmente de las condiciones ambientales, variando de 7 a 10 días en verano y hasta 50 días en invierno. Cuando la mosca emerge de la pupa, deberán transcurrir 20 a 40 horas para llegar a la madurez sexual, mientras que el tiempo previo a la oviposición puede variar de 2.2 a 3.7 días. Al alcanzar la madurez sexual y habiendo copulado con el macho, la mosca está lista para ovipositar y busca lugares húmedos que presenten materia orgánica en proceso de descomposición (Hogsette, 1996), los cuales son localizados por la presencia de ácido carbónico y acético que son liberados en este proceso (Bhattacharya y Taylor, 1975). En este sentido, la excreta de cerdo libera una gran cantidad de amoníaco que atrae a las moscas (Williams et al, 1985).

Los huevos son depositados por grupos, su período de incubación varía dependiendo de la temperatura y va de 8 horas a 2 días, durante los cuales se forma la larva (El Boushy, 1991). La etapa larvaria presenta tres estadios y su duración varía de 5 a 8 días según la temperatura, la humedad (Díaz y Hernández, 1991), así como, la cantidad y calidad de la materia orgánica o sustrato donde se desarrollen.

En el último estadio, las larvas comienzan a encogerse y a formar una cutícula protectora que se va obscureciendo poco a poco para formar la pupa. Durante esta etapa se almacena gran cantidad de lípidos en la periferia de éstas, que le servirán como una reserva energética para la transformación de las estructuras esenciales de la mosca (Dwivedi y Agrawal, 1995), la cual emerge 2 a 3 días después.

La proteína es esencial para el adecuado desarrollo de los ovarios y la producción de huevos, por lo que es importante una cantidad razonable de este nutrimento o los productos de su hidrólisis para mantener un ciclo de oviposición óptimo (Lysyk, 1991). Díaz y Hernández (1993) observaron que la alimentación de moscas con una mezcla de sangre fresca de bovino, agua y melaza o una mezcla de sangre fresca de bovino, suero de leche y melaza pueden ser empleadas para una mayor producción de larvas. Además de la proteína, el colesterol es esencial en la dieta, ya que a diferencia de los vertebrados, la mosca es incapaz de sintetizarlo (Monroe, 1960).

Utilización de la larva y pupa de mosca en la alimentación de los animales domésticos. Diversos estudios se han encaminado a determinar el valor nutritivo de la larva de mosca doméstica cuando se administra en raciones alimenticias para las especies domésticas (Iñiguez y Franco, 1994). En la alimentación de aves, Teotia y Miller, (1970) utilizaron pupa de mosca como único suplemento proteico en una dieta para pollo de engorda de 1 día de edad, comparada con una dieta control. Dichos investigadores informaron que durante 7 semanas del periodo de crecimiento, no hubo diferencias significativas en la conversión alimenticia y la ganancia de peso en esta especie. En el mismo estudio, la sustitución de 5% de harina de carne y 3% de harina de pescado por 8% de pupa de mosca, no condujo a diferencias significativas en ganancia de peso y conversión alimenticia.

Adicionalmente, Ocio y Viñaras (1979) al alimentar pollo de engorda no observaron mejora en la ganancia de peso y conversión alimenticia cuando se comparó una dieta conteniendo harina de pescado con otra elaborada con larva de mosca. Por su parte, Reyes (1980) sustituyó la proteína de la harina de soya por proteína de larva de mosca a niveles de 25, 50, 75 y 100% para alimentar pollos de 1 día de edad durante 5 semanas, encontrando un máximo de sustitución del 50%. Resultados similares fueron obtenidos por Charry y Renteria, (1987) en pollo de engorda y por Pacheco (1980) cuando alimentó codornices con larva de mosca sustituyendo en un 50% la harina de soya de la dieta.

En cuanto a la utilización de esta fuente proteica en la alimentación del cerdo, en estudios realizados por Newton y Booram (1977) utilizando larva de mosca soldado (*Hermetia illucens*) para la alimentación de cerdos en finalización, se observó que el balance de la proteína de harina de larva para la dieta fue de 8.13 g/ kg de alimento al día, comparada con 9.33 g/kg de alimento para cubrir las necesidades del cerdo a partir de una dieta con harina de soya. Gudilin y Bayandina (1987), al alimentar sementales y cerdas obtuvieron una ganancia diaria de peso de 560 g con una dieta conteniendo harina de carne y hueso y 630 g en dietas con 20% de proteína digerible de harina de larva de mosca.

La gran cantidad de materia orgánica contenida en la excreta del cerdo y sus repercusiones al ambiente con la liberación de compuestos nitrogenados, fosfatos y una gran demanda de oxígeno por parte de los ecosistemas para su degradación, implica la reducción de los desechos a través de la reutilización de los nutrientes contenidos en ellos. El mejor aprovechamiento se logra a través de procesos que permiten transformar la materia orgánica en una fuente de alimentación de mejor calidad, como serían el ensilado y la producción de larva de mosca a partir de la excreta de cerdo.

Objetivo general

El presente estudio compara el uso de dos diferentes métodos de reciclaje de excreta de cerdo, 1) Ensilada con sorgo molido y melaza y 2) Biodegradada, a través del cultivo de la larva de mosca doméstica, evaluando la capacidad de ambos métodos para aprovechar y recuperar los nutrimentos y disminuir los agentes patógenos liberados al ambiente.

Objetivos específicos

1. Evaluar el posible valor nutritivo mediante el análisis químico de la mezcla de excreta de cerdo con sorgo y melaza antes y después de ensilar.
2. Evaluar el posible valor nutritivo mediante el análisis químico de la excreta de cerdo fresca y después de ser degradada por la larva de mosca (*Musca domestica*).
3. Evaluar la capacidad del proceso de degradación de excreta de cerdo con larva de mosca y el proceso de ensilaje en la disminución de organismos potencialmente patógenos como *Salmonella spp* y *Escherichia coli*, a través de un análisis microbiológico.

Hipótesis

- A. Las características del ensilado producido a partir de cerdaza, sorgo, melaza y la adición de un inóculo de bacterias ácido lácticas difiere después de 15 días.
- B. Las características nutritiva de la cerdaza biodegradada por la larva de mosca doméstica (*Musca domestica*) difieren de la cerdaza fresca.
- C. El porcentaje de recuperación de nitrógeno contenido en la excreta de cerdo es mayor mediante el cultivo de larva de mosca doméstica, que cuando se ensila la excreta.
- D. La presencia de bacterias como: *Salmonella spp.* y *Escherichia coli* presentes en la excreta cerdo disminuye al ser ensilada la excreta o cuando es degradada por la larva de mosca.

Materiales 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 Universidad Nacional Autónoma de México (FMVZ-UNAM), el cual se encuentra ubicado en Jilotepec, Edo. de México. Se realizó un estudio de tipo prospectivo, comparativo, longitudinal y experimental en el cual se utilizó la excreta de cerdos en crecimiento (30 kg promedio de peso vivo), los cuales se encontraban en corrales con piso de cemento y eran alimentados con una dieta convencional elaborada a base de sorgo y soya, la cual reunía los requerimientos nutrimentales indicados por el National Research Council (NRC, 1980).

Un día por semana, fueron recolectados aproximadamente 40 kilogramos de excretas frescas en cubetas de lámina de 12.5 kg, los cuales fueron utilizados de manera inmediata, tanto para su inoculación con huevos de mosca, como para la elaboración del ensilado.

Producción de larvas de mosca

Cría de moscas y obtención de huevos en ambiente controlado. Las moscas que se utilizaron como pie de cría, fueron donadas en etapa de pupa por el insectario del Complejo Lechero de Tizayuca, Hidalgo. Se colocaron en 6 jaulas de madera de 65 x 65 x 70 cm (Figura 2), dentro de una cámara de ambiente controlado de 2.50 x 2.95 m² a una temperatura promedio de 25°C, una humedad relativa de 40% y un fotoperíodo de aproximadamente 16 horas de luz.

Las moscas eran alimentadas con leche en polvo y azúcar en una relación de 2:1 (Díaz y Hernández, 1991); proporcionándoles agua *ad libitum* en bebederos de plástico para codorniz cubierta con una malla para evitar que las moscas se ahogaran.

Los huevos producidos por las moscas fueron recolectados en cajas de petri con una gasa humedecida en una mezcla de leche en polvo (2/4), azúcar (1.5/4) y levadura (0.5/4) diluida en agua (Pérez, 1991). Los huevos se obtuvieron colocando la gasa en un recipiente con agua o directamente de los bebederos, con la ayuda de una red para colecta de peces de ornato. Una vez colectados, se pesaba 1 g (aproximadamente 2,500 huevos) de ellos en una balanza analítica (OHAUS Analytical Standard, modelo AS2000, OHAUS Corporation, Florham Park, NJ), para su posterior inoculación en 1 kg de excreta.

Inoculación de la excreta con huevos de mosca. Cada semana durante 5 semanas, fue colocado 1 kg de excreta fresca en 4 charolas de lámina (de 35 x 35 cm), en cada una se inoculó 1 g de huevos de mosca doméstica. Después de la inoculación, todas las charolas fueron cubiertas con tela de tul para evitar la invasión de otros insectos o arácnidos indeseables que pudieran ovipositar o comerse las larvas o huevos ahí presentes. Luz artificial fue proporcionada durante 16 horas al día, mediante focos de 60 watts que fueron colocados por encima de las charolas a 30 cm de altura.

Diariamente se observaban cada una de las charolas y de ser necesario se movía la excreta para evitar la formación de costras en la superficie, así como el crecimiento de hongos. Cada día 7 después de la inoculación, las larvas eran recuperadas colocando el contenido de las charolas en cajas de madera de 90 x 45 x 25 (figura 3) provistas de una malla metálica con perforaciones de 3 mm y con doble fondo. Las cajas eran expuestas a la luz solar haciendo que las larvas migraran al fondo por efecto del fototropismo negativo que presentan. Una vez separadas las larvas de la excreta, eran recolectadas en frascos de vidrio para ser transportadas en refrigeración (4°C) al laboratorio de Nutrición de la FMVZ, UNAM donde se les realizó un análisis químico proximal

Elaboración del ensilaje de excreta de cerdo

El ensilaje de excreta se elaboró con el diseño de 4 microsilos por semana, durante 5 semanas, utilizando cubetas de lámina metálica con una capacidad de 12.5 kg. En cada recipiente se mezclaron: 8.3 kg de excreta de cerdo fresca, 1 kg de sorgo molido y 700 g de melaza (Salazar, 1994). Los ingredientes fueron agregados en diferentes capas para homogeneizar la mezcla a la cual se le agregó 0.01% de un inóculo (Agente inoculante para ensilar 1174, Pioneer Hi-bred International inc. Iowa, EEUUA.) de bacterias lácticas (cuadro 1). Al final, se cerró la bolsa a presión reduciendo al máximo la presencia de oxígeno. Durante el proceso de ensilaje fueron registrados la temperatura y el pH de los silos a los días 0 y 15.

Análisis químico-proximal

Para la determinación del análisis químico proximal, se tomaron muestras de 200 g de la excreta de cada charola antes de ser inoculada por los huevos de larva y de los microsilos al día 0, y una muestra de la excreta de cada charola después de separar las larvas al día 7 y del ensilaje al día 15.

Las muestras fueron transportadas en una hielera (4°C) a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México (FMVZ-UNAM), donde fueron colocadas en un horno de secado (Thalco modelo 28, Precision Scientific Co.) a 110 °C durante 24 horas, para las posteriores determinaciones de la cantidad de materia seca, proteína cruda, cenizas, extracto etéreo, fibra cruda, y proteína verdadera según el método descrito por la Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytic Chemists (AOAC, 1980) y por Tejeda (1985).

Análisis microbiológico

La presencia de agentes patógenos se determinó mediante la toma de una muestra con material estéril de 25 g de la excreta de cada charola del método de producción de larva de mosca los días 0 y 7 y de cada microsilo del método de ensilaje los días 0 y 15, de las 5 repeticiones de cada tratamiento. Las muestras se colocaron en frascos estériles con 225 ml de agua peptonada al 1% y se mantuvieron a 4°C durante su traslado al Laboratorio de Medicina Preventiva de la FMVZ-UNAM. En el laboratorio, las muestras se colocaron en una estufa (FELISA, modelo 133, Fabrica de equipos para Laboratorio e Industrias S.A., México D.F.) a 36°C durante 24 hrs y se siguió el procedimiento para la posterior determinación de *Salmonella spp* descritos en la Norma Oficial Mexicana del 22 de septiembre de 1995 y la determinación de *E. coli* descrita en el manual de la OPS para la evaluación del riesgo microbiológico de los alimentos (OPS, 1994).

Determinación de *Salmonella spp*. Las muestras fueron sembradas en tubos de tetracionato y selenito y se incubaron durante 24 horas a 35°C, posteriormente se sembraron en XLD (Xilosina Lisina Desoxicolato) y V.B. (Verde brillante) durante 48 hrs a 35°C, posteriormente se seleccionaron las colonias típicas y se sembraron en tubos con T.S.I. (Agar hierro y triple azúcar) y L.I.A. (Agar hierro lisina), y se incubaron a 36°C durante 24 horas. Las cepas de tubos positivos fueron confirmadas mediante una prueba serológica.

Determinación de *E. coli*. Las muestras fueron sembradas en agar verde brillante durante 24 horas a 36°C. Las colonias sospechosas de contener coliformes fueron sembradas en tubos de *E. coli* e incubadas en baño María durante 48 horas. Los tubos positivos a coliformes (con gas) fueron sembrados en agar verde brillante y se incubaron a 36°C durante 24 horas. Se realizó la prueba de INVIC que consiste en la prueba de indol (+), prueba de rojo de metilo (+), prueba de citrato de Simons (-) y la prueba de Roges Proskawer (-) para determinar si las colonias correspondían a *E. coli*. Las cepas positivas fueron sembradas en agar nutritivo y se enviaron al laboratorio del Instituto Nacional de Referencia Epidemiológica.

Análisis estadístico

El análisis de varianza se realizó mediante un diseño de bloques al azar, donde el bloque fue la semana de muestreo y las réplicas las charolas y los microsilos, siendo los tratamientos los siguientes:

L₀ (Excreta de cerdo fresca antes del tratamiento)

L₇ (Excreta biodegradada por larvas de mosca)

S₀ (Excreta de cerdo, sorgo y melaza)

S₁₅ (Excreta de cerdo ensilada)

El total de la variación se le atribuyó al modelo

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + \sigma(i) + T_j + \epsilon(ij)k$$

donde:

Y_{ijk} = es el k-ésimo cambio de composición en: materia seca, MS; proteína cruda, P.C.; fibra cruda, F.C.; grasa; Cenizas; nitrógeno no proteico, NNP; asociada al j-ésimo tratamiento y al i-ésimo bloque

μ = la media poblacional

B_i = es el efecto de la i-ésima semana de muestreo (1,2...5)

$\sigma(i)$ = es el error aleatorio debido al bloque NID (0, $\sigma^2\delta$)

T_j = es el efecto del j-ésimo tratamiento (cultivo de larva o ensilaje de excreta)

$\epsilon(ij)k$ = es el error NID (0, σ^2)

Los datos fueron analizados bajo el procedimiento GLM utilizando el programa estadístico conocido como su nombre en inglés SAS (SAS, 1989).

Resultados y Discusión

El reciclamiento de los nutrimentos contenidos en la excreta de cerdo puede ser una alternativa viable para disminuir la contaminación que este subproducto de la industria porcina ocasiona al ambiente. La utilización de la excreta como sustrato para el crecimiento de organismos que aprovechan los nutrimentos contenidos en ella o para ser utilizada como materia prima para el proceso de ensilaje; son procedimientos que de manera indirecta logran disminuir la contaminación ambiental y al mismo tiempo por su contenido nutrimental, ambos productos resultantes pueden ser empleados en la nutrición animal.

Producción de larvas de mosca en excreta de cerdo

La producción de larvas después de la inoculación de huevos de *Musca domestica* en la excreta fresca de cerdo se muestra en el cuadro 2. A los 7 días, la producción de éstas se mantuvo relativamente constante en cada una de las inoculaciones. En promedio se obtuvieron 43.5 g de larva fresca por kg de excreta, con un contenido de materia seca que varió del 25 al 35%. La cantidad de materia orgánica (85 %) contenida en la excreta de cerdo, hace posible que pueda ser utilizada como sustrato para el desarrollo de larvas de mosca (Andrade, 1987). Además de que, las condiciones de temperatura y humedad de la excreta también son favorables para el crecimiento de microorganismos, tales como, bacterias, hongos y levaduras, que incrementan la materia orgánica presente en la excreta y sirven de sustento para la larva de mosca (Barnard, 1992).

Dependiendo de la cantidad y calidad del sustrato y de las condiciones ambientales, se obtendrá un mayor número de larvas, por ejemplo, Villasana (1981) logró obtener 26.4 g de larva de mosca doméstica por kg de excreta de cerdo en invierno, 55.1 g en primavera y 53 g en verano. Similarmente, Díaz (1991) logró obtener hasta 61 g de larva por kg de excreta en ambiente controlado.

Otra variable a considerar en el desarrollo de larvas de mosca es la viabilidad de los huevos, ya que estos requieren de condiciones de temperatura y humedad muy estrictas. El tiempo que transcurre desde que son ovipositados los huevos por la mosca, hasta el momento en el que son colocados en la excreta es un punto crítico a considerar para lograr una mayor producción de larvas (Calvert, 1979). Estas variables pudieran ser controladas a través de la implementación del sistema propuesto por Hernández (1993), que consiste en permitir que la mosca oviposite directamente sobre la excreta y únicamente se controla el tiempo de exposición y la humedad de la excreta.

Composición química proximal de la larva de mosca. La capacidad de la larva de mosca doméstica para aprovechar la materia orgánica en descomposición presente en la excreta de cerdo y de transformarla en tejido propio, sugiere la posibilidad de utilizar a la larva como un ingrediente en la dieta de especies domésticas. Con la utilización de la larva en la degradación de la excreta de cerdo, se logró obtener 14.81 g de proteína cruda por kg de larva producida (Cuadro 3). Datos similares fueron reportados por Pacheco (1980) al utilizar excreta de cerdo para el cultivo de larvas de mosca doméstica, obteniendo 13 g de proteína cruda por kg. Andrade (1987) obtuvo larvas con 5.46 g/kg de PC cuando inoculó 1g de larva por 500 g de excreta. La diferencia en el contenido de proteína de la larva dependerá de las variaciones del sustrato en donde se desarrolle (Díaz y Hernández, 1991).

La concentración de grasa (Cuadro 3) obtenida en la larva (3.93 g/kg) fue menor comparada con la reportada por Ocio y Viñaras (1979) y por Andrade (1987), quienes obtuvieron hasta 6 g/kg y 9 g/kg, respectivamente. Estos autores analizaron las larvas en el último tercio (entre el día 9 y 10) lo que explica el incremento en el contenido de grasa, ya que la larva requiere mayor aporte de energía durante la etapa de pupación (Dwivedi y Agrawal, 1991). El aporte de cenizas de la larva de mosca obtenida en el presente estudio (1.7 g/kg) fue similar (1.8 g/kg) al obtenido por Andrade (1987), pero fue superior al observado por Pérez (1991), quien logró obtener solo 1.23 g/kg. Otra característica nutricia a considerar en la larva de mosca cultivada en excreta es la cantidad de energía digerible (3,750 kcal/kg) y de energía metabolizable (3,075 kcal/kg) que hace factible su uso en la alimentación de las aves (Villasana, 1981), en particular, en dietas para codorniz (Pacheco, 1980) donde se ha sustituido por harina de soya.

Elaboración de ensilaje de excreta de cerdo

Las condiciones de biorreacción de la excreta ensilada con sorgo y melaza favorecen el proceso de degradación de la materia orgánica, reduciendo el pH e incrementando la temperatura en el silo. Al inicio del proceso de ensilaje la temperatura fue relativamente constante a lo largo de las 5 semanas en las que se realizó el estudio (Cuadro 4). A los 15 días, la temperatura promedio de las muestras oscilaba entre 23.57 y 24.45 °C (\bar{x} =24.04). Sin embargo, el promedio de incremento en las muestras obtenidas durante las 5 semanas del período experimental fue de 9.35°C.

El efecto del proceso de ensilaje sobre el pH del ensilado de excreta de cerdo se muestra en el cuadro 4. Al igual que con la temperatura, el pH de las muestras al inicio del proceso de ensilaje fue relativamente similar durante cada semana del proceso experimental (pH=5.8). Sin embargo, al día 15 del proceso, este parámetro se redujo en una proporción similar en cada una de las muestras, obteniéndose un valor promedio de 4.4.

Este decremento en el pH (de 5.8 a 4.4) después de 15 días del proceso de ensilado, es un indicador de la presencia de bacterias ácido-lácticas que favorecen la transformación de carbohidratos solubles presentes de la excreta y el sorgo. Resultados similares pueden ser comparados con los obtenidos por Ramírez y Rodríguez. (1985) quienes lograron buenos ensilados de excreta de cerdo con rastrojo de maíz y melaza, utilizando proporciones de 10, 20 y 30% de excreta, obtuvieron valores de pH de 4.5, 4.5, 4.6 respectivamente.

La adición de *Lactobacillus plantarum* y *Streptococcus faecium* como agentes inoculantes en el ensilado de excreta de cerdo puede ser un factor importante a considerar para una más rápida fermentación láctica. Datos similares fueron observados por Salazar (1994) cuando ensiló excreta de cerdo con sorgo molido y excreta de cerdo con melaza, utilizando en ambos caso un inóculo de bacterias ácido-lácticas.

Por su parte, Kamra y Srivastava (1994) observaron que la adición de 5% de melaza en el ensilado de excreta de cerdo y sorgo inoculada con *Lactobacillus plantarum* y *Streptococcus faecalis*, favorece el decremento del pH inhibiendo la producción de ácidos grasos volátiles.

Características nutritivas de la cerdaza biodegradada y del ensilado

La cantidad de materia orgánica presente en la excreta de cerdo y su fácil degradación por la larva de mosca o por las bacterias anaerobias presentes en el ensilado hacen posible la recuperación de los nutrimentos de este subproducto para ser aprovechados de diferente forma. En general, los resultados del análisis químico proximal (Cuadro 5) muestran una mejor transformación de la excreta de cerdo por la larva de mosca, en cuando a su capacidad para recuperar nutrimentos, que cuando fue ensilada con sorgo y melaza.

El efecto de los diferentes tratamientos sobre cada una de las variables de dicho análisis es el siguiente:

Materia seca, MS. El porcentaje de materia seca de la excreta biodegradada por las larvas de mosca se incrementó con respecto a la excreta fresca y a la excreta antes y después de ensilar (53.90 vs 29.38, 40.09, 40.83 %, respectivamente). El contenido de materia seca en la excreta no varió con el proceso de ensilado; sin embargo, su valor fue intermedio entre la excreta fresca y la excreta biodegradada por la larva de mosca. Lo que lleva a una transformación de la excreta de cerdo por la larva de mosca, dando origen a un producto que puede ser manejado fácilmente debido a la pérdida de humedad. Esta pérdida, que está condicionada en parte por la evaporación del agua que contiene, se debe principalmente a los procesos de aireación que sufre la excreta en presencia de las larvas de mosca, que buscan su fuente de alimento haciendo surcos en ella (Hogsette, 1996).

El porcentaje de humedad de la excreta fresca (70.6%) se redujo en un 46.1% cuando se utilizó la larva de mosca. Resultados similares fueron obtenidos por Miller (1969) y El Boushy (1991) quienes observaron una reducción de un 75 a un 50% de humedad; sin embargo, estos autores utilizaron excreta de pollo de engorda como sustrato para las larvas.

Los datos obtenidos en el presente trabajo son similares a los obtenidos por Andrade (1987) quien logró reducir la humedad hasta el 58% cuando inoculó 1g de larva de mosca en 500g de excreta de cerdo (210 g/kg MS).

Los resultados de la materia seca (40.83) obtenidos durante el proceso de ensilaje, pueden compararse con los obtenidos por Ramírez (1990) quien evaluó diferentes porcentajes de excreta de cerdo (10, 20 y 30%) ensilada con rastrojo de maíz, melaza y urea, obteniendo para cada porcentaje 41.8 %, 42.0 % y 42.0% respectivamente.

Proteína cruda, PC. Este nutrimento varió significativamente ($p < 0.05$) en cada uno de los tratamientos respecto al contenido original en la excreta fresca. En la excreta biodegradada por la larva de mosca se incrementó ($p < 0.05$) con respecto al contenido de proteína de la excreta fresca (18.74 vs 9.74 g/kg). Este incremento de proteína cruda difiere a los resultados obtenidos por Pérez (1991) donde la proteína cruda de la excreta de cerdo disminuye en un 10%, ya que ésta aprovecha la materia orgánica presente en la excreta en forma de proteína. Sin embargo, esto solo puede explicarse por el hecho de que la excreta analizada haya contenido materia orgánica de origen larvario.

El proceso de ensilaje disminuyó ($p < 0.05$) el contenido de esta variable respecto a la excreta previa al proceso (6.74 vs 14.44 g/kg). Esta disminución puede ser comparada con la obtenida por Ramírez (1990), donde observó que al ensilar cerdaza con rastrojo de maíz, el porcentaje de proteína disminuía de 24.84 a 20.59 %. La disminución en el contenido de PC indica que la cantidad de urea presente en la excreta pudo no ser suficiente para mantener el crecimiento bacteriano, por lo que probablemente se utilizó la proteína existente en la mezcla para ensilar (Rubio, 1995).

Fibra cruda. Al igual que la proteína cruda, la cantidad de fibra cruda en la excreta biodegradada por la larva de mosca fue superior ($p < 0.05$) respecto a la excreta de cerdo fresca (8.80 vs 3.50 g/kg, respectivamente). Este incremento de la fibra cruda en la excreta de cerdo biodegradada fue contrario a lo reportado por Pérez (1991), donde el contenido de fibra se reduce en un 31.5%. Estas diferencias pueden ser atribuibles al hecho de que existan variaciones en la edad de los huevos inoculados en la excreta y posiblemente parte de la fibra provenga de la larva en su último estadio o de la pupa presente en la excreta.

Por otro lado, la cantidad de fibra obtenida disminuyó ($p > 0.05$) antes y después del proceso de ensilaje (5.0 vs 2.88 g/kg, respectivamente). Esta disminución en el contenido de fibra cruda puede ser explicada por el hecho de que algunas bacterias (*Fibrobacter succinogenes*, *Ruminococcus albus*, *Clostridium herbivorans*, *Acetivibrio ethanolgignes*) (Varel y Yen, 1997) presentes en la excreta del cerdo obtienen su energía a partir de la celulosa y la hemicelulosa.

Grasa. El efecto de la degradación por parte de la larva de mosca sobre el contenido de grasa también se muestra en el cuadro 5. La larva de mosca disminuyó ($p > 0.05$) el contenido de grasa respecto al valor observado en la excreta fresca (6.94 vs 6.20 g/kg, respectivamente). La disminución de la grasa presente en la excreta de cerdo después de ser biodegradada fue similar a los resultados obtenidos por Pérez (1991) quien observó una disminución del 32% (de 9.48 g/kg a 6.43 g/kg). Esta disminución en el contenido de grasa refleja su utilización por la larva de mosca para el desarrollo estructuras esenciales de la mosca durante su etapa pupal (Busvine, 1966).

El contenido de grasa en el ensilado se incrementó ($p>0.05$) respecto a la excreta adicionada con sorgo y melaza (4.33 vs 3.5 g/kg, respectivamente), quince días después de iniciado el proceso de ensilaje. Datos similares fueron reportados por Flores et al. (1997) cuando ensiló sólidos de excretas porcinas con sorgo y melaza no encontrando diferencias significativas ($p>.21$) en el contenido de grasa antes (9.81 mg/kg) y después de ser ensilada (9.22 mg/kg).

Nitrógeno no proteínico, NNP. Al ser degradada la excreta de cerdo por la larva de mosca, el contenido de NNP se incrementó ($p<0.05$) respecto al valor obtenido en la excreta de cerdo fresca (3.48 vs 1.27 g/kg). Similarmente, durante el proceso de ensilaje el contenido de esta variable, se incremento ($p>0.05$) respecto al valor observado en la excreta adicionada con sorgo y melaza (2.32 vs 1.71 g/kg). Sin embargo, la cantidad de NNP en la excreta biodegradada por la larva de mosca fue superior ($p>0.05$) respecto a la ensilada.

Análisis Microbiológico

En las 10 muestras analizadas (cuadro 6), se observó la presencia de coliformes en 6 muestras de las provenientes de la cerdaza fresca y en 5 de la mezcla para ensilar, de las cuáles solo 2 resultaron positivas a coliformes después de haber sido ensilada la excreta. No se detectó la presencia de *E. coli* en la cerdaza biodegradada por la larva de mosca, ni en las larvas producidas. Todas las muestras sospechosas a *E. coli* fueron enviadas al Laboratorio del Instituto Nacional de Referencia Epidemiológica donde se confirmó la presencia de *E. coli* enterotoxigénica.

El porcentaje de muestras analizadas donde se determinó la presencia de *E. coli* fue alto (60%) si se considera que estas bacterias representan solo el 1.7% del total de bacterias aisladas en la excreta del cerdo (Moore et al., 1987). Sin embargo, se redujeron en un 100% cuando la excreta fue biodegradada por la larva de mosca.

La presencia de *E. coli* en el ensilado (2%) pudo deberse básicamente a un alto contenido de humedad presente en el ensilado (60%) y a la temperatura, que no fue mayor a 24.5°C, por lo que se considera que con un 40% de humedad en el ensilaje, con un pH entre 3.9 y 4.8 y un contenido de ácido láctico del 5% de la materia seca, será inhibido el crecimiento de bacterias patógenas (Mc Caskey, 1990).

Conclusiones y Recomendaciones

- Al degradar la excreta de cerdo con larva de mosca doméstica (*Musca domestica*) se conservan o mejoran sus características nutritivas.
- Al ensilar excreta de cerdo con sorgo y melaza sus características nutritivas se conservan y en algunos caso disminuyen.
- Las características nutritivas de la excreta de cerdo biodegradada por la larva de mosca son superiores a las obtenidas a los 15 días de ensilar excreta de cerdo con sorgo y melaza.
- La utilización de la larva de mosca para degradar la excreta de cerdo y el ensilarla con sorgo y melaza logra disminuir o elimina los riesgos de contaminación de la excreta por la presencias de *E. Coli*.
- La posible transformación y reutilización de los desechos en ambos sistemas hacen posible la aplicación de estas soluciones al problema de manejo de las excretas y de la contaminación.
- Los productos obtenidos de la degradación (excreta biodegradada y larva de mosca), así como, el ensilaje producido presentan un contenido de nutrimentos que hace posible su utilización en dietas para los animales domésticos.

La obtención de dos productos (larva y excreta biodegradada) con cambios en el contenido de materia disponible, sugiere la posibilidad de realizar mayores investigaciones en el campo de los procesos de degradación y transformación de la materia orgánica por la larva, así como, su aprovechamiento como una fuente de alimento en dietas para el propio cerdo u otras especies.

Además, la aplicación de un inoculante de bacterias ácido lácticas en el proceso de ensilaje cuando se emplea excretas de cualquier especie doméstica es un campo aún poco estudiado, que podrá justificar el uso de la excreta del cerdo para ser ensilada y utilizada en la alimentación de los animales.

Literatura citada

- Andrade MG. Evaluación de la calidad proteica de larvas de mosca desarrolladas en estiércol de cerdo y valoración de su actividad como biodegradador de los desechos. (tesis de licenciatura). Escuela Nacional de Estudios Profesionales, Iztacala, México: Universidad Autónoma de México, 1987.
- Anthony WB. Animal waste value-nutrient recovery and utilization. *J. Anim Sci.* 1970;32:(4) 799-802.
- Archila CW. Evaluación nutritiva de maíz y sorgo forrajero ensilado con excreta y melaza. (tesis de maestría). Chapingo (Edo. de México) México: Colegio de Postgraduados, 1989.
- Armenta J. Normatividad de descargas de aguas residuales. *Porcicultura Mexicana.* 1995;1:16-17.
- Arnaud SS, Bisailon JG, Beudet R. Microbiological aspects of ammonia oxidation of swine waste. *Can. J. Microbiol.* 1991;37:12 918-923.
- Arndt DL, Day DL. Processing and handling of animal excreta for refeeding. *J. Anim. Sci.* 1979;57:461.
- AOAC. Official Methods of Analysis. 13^a Ed. Washington, D.C. EEUUA: Association of Official Analytical Chemists, 1980.
- Balconi IR. Panorama Tecnológico Actual de la Porcicultura Mundial. Topics of Present and Future Interest for the Swine Industry. Balconi Ivan Editor, Minesota, EEUUA, 1996.
- Ballester M, Bizeau C, Moletta R. Study of nitrification of swine waste after methanization, selection and comparative study of two microbiological nitrifying ecosystems. *Environm. Technol* 1992;13:9 837-845.
- Barnard DR, Harms RH. Growth and survival of house flies (*Diptera: Muscaide*) in response to selected physical and chemical properties of poultry manure. *J. Econ. Entomol.* 1992;85:1213-1217.

- Berger JC, Fontenot JP, Kornegay ET, Webb KE. Feeding swine waste. I. Fermentation characteristics of swine waste ensiled with ground hay or ground corn grain. *J. Anim. Sci.* 1981a;52:1388
- Berger JC, Fontenot JP, Kornegay ET, Webb KE. Feeding swine waste. II. Nitrogen utilization, digestibility and palatability of ensiled swine waste and orchard grass hay or corn grain fed to sheep. *J. Anim. Sci.* 1981b;52:1404.
- Bhattacharya AN, Taylor JC. Recycling animal waste as a feedstuff, a review. *J. Anim. Sci.* 1975;41:5 1438-1456.
- Bolaños F. El impacto biológico. Problema ambiental contemporáneo. Coordinación General de Estudios de Posgrado. Colección Posgrado 7 México: Instituto de Biología. 1990.
- Burton CH, Sneath RW, Farrent JW. Emission of nitrogen oxide gases during aerobic treatment of animal slurries. *Biores. Technol.* 1993;45:3,233-235.
- Busvine JR. Insects and hygiene: The biology and control of insect pests. 2ª. ed.: Editorial Methuen & Co LTD. Methue, Inglaterra, 1966.
- Calvert CC. Use of Animal Excreta for Microbial and Insect Protein Synthesis. *J. Anim. Sci.* 1979;48:1 178-192.
- Campabadal C. Utilización de la cerdaza en la alimentación de ganado de carne y como alternativa para evitar la contaminación ambiental. *Boletín de la Asociación Americana de la Soya* 1994;1-19. México, DF. México, 1994.
- Campbell R. Nuevas Tecnologías para el aprovechamiento máximo del potencial del cerdo. Topics of Present and Future interest for the swine Industry. Balconi Ivan Editor 1996.
- Canizares RO, Domínguez AR. Growth of *Spirulina maxima* on swine waste. *Biores. Technol.* 1993;45:1 73-75.
- Cees E, Van K, Jos HM. Pig waste disposal: Mechanisms and implications. 15th International Pig Veterinary Society Congress; 1998 julio 5-9; Birmingham, Inglaterra, 1998.

- Cobos PM. Evaluación nutricional de ensilados a base de estiércol, melaza y rastrojo de maíz en la alimentación de ovinos. (tesis de maestría). Chapingo. (Edo de México) México: Colegio de Postgraduados, 1987.
- Crook B, Robertson JF. Airborne dust, ammonia, microorganisms and antigens in pig confinement house and the respiratory health of exposed farm workers. *Journal of Am. Ind. Hygiene Assoc.* 1991;52:217-279.
- Charry PL, Renteria RY. Larvas de mosca doméstica (*Musca domestica*) producidas en excreta de cerdo, como alimento de pollos asaderos. (tesis de licenciatura) Palmira, Colombia: Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional Autónoma de Colombia, 1987.
- Cho NI, Yoon CS, Lee, NH. Effect of *Lactobacillus plantarum* inoculation and molasses supplementation to a rice straw-wheat bran-poultry manure silage on its fermentation characteristics. *Korean J. Anm. Sci.* 1989;31:162-169.
- Chung TY, Kim KC, Lee SR. Effect of moisture content and substitution level of molasses on the fermentation characteristics of swine manure silage. *Korean J. Anm. Sci.* 1993;35 (5):397-403.
- Dale N. Ingredient analysis table:1997 edition. *Feedstuffs Ref. Inssue.* 1997;(69)38:24-25
- Díaz CB, Hernández RP. Evaluación de fuentes de nutrientes para la mosca común (*Musca domestica* L.) en base a la producción de larva. (tesis de Licenciatura). Chapingo (Edo. de México) México. Universidad Autónoma de Chapingo. México, 1991.
- Díaz J, Díaz, CP. A note on the feeding of pregnant sows with pig manure silage and final molasses, alone or enriched with other foodstuffs. *Cuba J. Agric. Sci.* 1988;22:(2)179-182.
- Dourmand JY, Guillou D. Development of a calculation model for predicting the amount of N excreted by the pig: effect of feeding, physiological stage and performance. *Livest. Prod. Sci.* 1992;31:95-107.
- Dourmand JY, Milgen JV. Modelling procedures to minimise pollution in pigs. 15th Intl. Pig Veterinary Society Congress; 1998 Julio 5-9; Birmingham, Inglaterra.

- Druker, A. Estudio sobre residuales porcinos en Yucatán. Memorias del Segundo Seminario Manejo y Reciclaje de Residuales Porcinos; 1997 Octubre 27-30; Querétaro, México, 1997.
- Duarte EA, Mendes, B. Oliveira, J.S. Valorization of solid wastes from biomethanization of pig breeding effluents. Wat. Sci. Technol. 1992;26:9-11.
- Dwivedi J, Agrawal OP. Degradation of cuticle during larva-pupal and pupal-adult development of the housefly, *Musca domestica*. Physiol. Entomol. 1995;20(4) 318-322.
- Edwards CA. The production and processing of eathworm protein. Eathworms in waste and environmental management. 1988;24:169-179.
- El Boushy AR, House-Fly pupae as Poultry Manure Converters for Animal Feed: A Review. Biores. Technol. 1991;38:45-49.
- Esteban VJ. Reciclaje de excreta de cerdo: Estudio recapitulativo. (tesis de licenciatura). México D.F. México: Fac. de Med. Vet. y Zoot. Universidad Nacional Autónoma de México, 1993.
- Fenton MP. An investigation into the source of lactic acid bacteria in grass silage. J. Appl. Bacteriol. 1987;62:181-188.
- Flores GM, Castrejón PF, Corona GL. Características nutricionales de sólidos de excreta porcina ensilada con melaza y sorgo. XXXIII Reunión Nacional de Investigación Pecuaria; 1997 Noviembre 3 al 8; Veracruz, México.
- Fontenot JP, Rodd, JJ. Animal waste utilization. Proc. 4th Internationsl Symposium on Liverstock Wastes; 1980 Mayo 4-10; Amarillo, Texas, EEUUA.
- González OA. Problemas de contaminación. Desarrollo porcícola. 1992;2:28-29.
- Gutiérrez EG. El papel de la melaza y los ácidos grasos volátiles sobre la *Salmonella* en raciones con estiércol fresco de cerdo. Segundo Seminario de Manejo y Reciclaje de Residuales Porcinos; 1997 Octubre 26-30; Querétaro, México, 1997.
- Gudilin I, Bayandina GV. House fly larvae meal – a replacer for animal protein feed in fattening young pigs. Nutr. Abstr. Rev. 1987; Series B. 057-03749.

- Henry DP, Frost AJ, Samuel JL. Factors affecting the survival of *Salmonella* and *Escherichia coli* in anaerobically fermented pig waste. *J. Appl. Bacteriol.* 1983;55(1):89-95.
- Hernández MA. Producción de larva de mosca (*Musca domestica* L.) en mezclas de estiércol de cerdo y bovino. (tesis de licenciatura). Chapingo, Edo. de México, México: Depto. de Zootecnia. Universidad Autónoma de Chapingo, 1993.
- Hernández CB, Castrejón PF. Determinación de bacterias patógenas en ensilados de excretas porcinas con caña de azúcar. XXXIII Reunión Nacional de Investigación Pecuaria: 1997 Noviembre 3 al 8; Veracruz, México.
- Hogsette JA. Development of house flies (Diptera: Muscidae) in sand containing varying amount of manure solids and moisture. *J. Econ. Entomol.* 1996;89(4):940-945.
- Iñiguez CG, Cuaron IA. Fermentation characteristics, digestibility and performance of ensiled swine waste, wheat straw and cane molasses fed to sheep. *Biological Wastes.* 1990;34(4):281-299.
- Iñiguez CG, Franco G, Robles CA. Factibilidad técnico-económica para el aprovechamiento de sólidos recuperables de estiércol de cerdo fermentados en la nutrición del cerdo. Memorias del Primer Ciclo Internacional de Conferencias sobre el aprovechamiento de estiércol de cerdo; 1990 Guadalajara. (Jalisco) México. Centro de Innovaciones Tecnológicas Avanzadas, IPN. Guadalajara., Jal. 1990.
- Iñiguez CG, Franco GM. Biodegradation of swine waste by house-fly larvae and evaluation of their protein quality in rats. *J. Appl. Animal Res.* 1994;6(1):65-74.
- Kamra DN, Srivastava SK. Effect of sugarcane molasses on fermentation of pig faeces and straw inoculated with lactic-acid producing bacteria. *Biores.Technol.* 1994;47(1):87-88.
- Kornegay TE, Holland RM, Webb EK. Nutrient characterization of swine fecal waste and utilization of these nutrients by swine. *J. Anim. Sci.* 1977;44: 608-619.
- Licéaga MM. Manejo de excretas en granjas porcinas: Estudio recapitulativo. (tesis de licenciatura). México D.F. México: Fac. de Med. Vet. y Zoot. Universidad Nacional Autónoma de México, 1994.

- Likens G, Wright J, Galloway TJ. Acid rain. *Sci. Amer.*; 1979;4(241):39-47.
- Lysyk TJ. Effects of temperature, food, and sucrose feeding on longevity of the house fly (*Diptera: Muscidae*). *Environm. Entomol.* 1991;20:4 1176-1180.
- Lo KV, Lau AK. Composting of separated solid swine wastes *J. Agric. Eng. Res.* 1993;54(4):307-317.
- Mc Caskey AT. Microbiological and chemical pollution Potential of swine waste. *Memorias del Primer Ciclo Internacional de Conferencias sobre el aprovechamiento de estiércol de cerdo*; 1990 Guadalajara (Jalisco) México: Centro de Innovaciones Tecnológicas Avanzadas, IPN. Guadalajara, Jal. 1990.
- Metcalf CL, Flint WP. *Insectos destructivos e insectos útiles, sus costumbres y su control.* Segunda edición México:Compañía Editorial Continental, S.A. 1980.
- Meza BJ, Morquecho LC, Domínguez, V. Evolution of including swine manure silage in feeding of sheep. *Reunión Nacional de Investigación Pecuaria*; 1997 Noviembre 3 al 8. Veracruz. Ver México, 1997.
- Miller BF. Biological Digestion of manure by Diptera. *Feedstuffs* 1969;41(51):32.
- Monroe RE. Effect of dietary cholesterol on house fly reproduction. *Ann. Entomol. Soc. Am.*. 1960;53(6):821-824.
- Moore WE, Cato TD, Kornegay ET. Effect of high-fiber and high-oil diets on the fecal flora of swine. *Appl. Environm. Microbiol.* 1987;53:1638-1644.
- Morgan NO, Calvert CC, Martin RD. *Biodegrading Poultry Excreta with House Fly Larvae: The Concept and Equipment.* United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service 1970;33:136.
- Moser AM. Tratamiento de residuales porcinos para uso en riego agrícola. *Memorias del Segundo Seminario de Manejo y Reciclaje de Residuales Porcinos*; 1997 Octubre; Querétaro México, 1997.
- Muller ZO. *Feed from Animal Wastes: State of Knowledge.* FAO Animal Production and Health Paper 1980;18:132-133.
- Newton GL, Booram CV. Dried *Hermetia illucens* Larvae Meal as a Supplement for Swine *J. Anim Sci.* 1977;44(3):395-400.

- NOM-001-ECOL-1996 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación Lunes 06 de enero, México D.F., 1997.
- NOM-002-ECOL-1996 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano y municipal. Diario Oficial de la Federación Lunes 06 de enero, México D.F., 1997.
- Noue J, Bassees A. Biotreatment of anaerobically digested swine manure with microalgae. *Biological Wastes* 1989;29(1):17-37.
- NRC. Nutrient Requirement of Swine. 9th edición. Washington, D.C. National Press. EEUUA, 1980.
- Ocio E, Viñaras R. House fly larvae meal grown on municipal organic waste as a source of protein in poultry diets. *Animal Feed Sci. Technol.* 1979;4:227-231.
- Ochoa C, Bravo J, Avila C. Uso de materia fecal de cerdos y gallinas en la alimentación de ovinos en crecimiento. *Tecn. Pcc. Méx.* 1972;22:11-15.
- Olguin PE. Sistemas para el control de la contaminación del agua por excretas animales con recuperación de biomasa algal. Memorias del Seminario Internacional Contaminación de cuerpos de agua superficiales y subterráneos por fuentes no puntuales. México DF. México, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 1994.
- OPS. Evaluación del riesgo microbiológico de los alimentos vendidos en la vía pública en ciudades de América Latina. 1994. División de Prevención y Control de Enfermedades Transmisibles. Oficina Sanitaria Panamericana, OMS., 1994.
- Osada T., Huga K, Harada Y. Removal of nitrogen and phosphorus from swine wastewater by the activated sludge units with the intermittent aeration process. *Wat.Res.* 25:11 1377-1388 (1991)
- Pacheco, A.J. Larva de mosca (*Musca domestica*), alternativa como fuente de proteína en la cría de codorniz (*Coturnix sp.*) (tesis de licenciatura). Chapingo (Edo. de México) México: Universidad Autónoma de Chapingo, 1980.
- Papp, L. House fly larvae as protein source from pig manure. *Folia Entomologica Hungarica* 1975;28(1):127-136.

- Pérez JP, Pérez RS. Producción de larva de mosca (*Musca domestica L*) bajo condiciones controladas, utilizando estiércol de cerdo. (tesis de licenciatura). Chapingo (Edo de México) México: Depto. de Zootecnia. Universidad Autónoma de Chapingo, 1991.
- Pérez E.R. El Proyecto: Control y utilización de aguas residuales y excretas provenientes de granjas porcinas. (Trabajo de Campo) Desarrollo Porcícola 1994;24:5-12.
- Pérez E.R. Porcicultura y medio ambiente. Memorias del Segundo Seminario de Manejo y Reciclaje de Residuales Porcinos; Octubre 22 al 25; Querétaro, México, 1997.
- Pérez P, Viniestra G. Potencial del uso del estiércol en la alimentación de bovinos. Instituto de Investigaciones Biomédicas. 1980.
- Pond WG, Maner JH. Swine production and nutrition, 1984 AVI Publishing Company Inc. Westport, CT EEUUA.
- Ramírez VF. Valor nutricional del ensilados de rastrojo de maíz y cerdaza o gallinaza para borregos con o sin implante de zeranol. (tesis de Maestría) Chapingo (Edo de México) México Colegio de Psgraduados, Chapingo, 1990.
- Ramírez VF, Rodríguez F. Características químicas de ensilajes de rastrojo de maíz adicionado de excremento de cerdo, urea y melaza. Resúmenes de la Reunión ALPA. 1985 Noviembre: Ciudad de México, México, 1985.
- Reyes MR. Estudio preliminar de la larva de mosca (*Musca domestica*) como fuente de proteína en dietas para pollo. (tesis de licenciatura). Chapingo (Edo. de México) México: Depto. de Zootecnia. Universidad Autónoma de Chapingo, 1980.
- Rodríguez GA. Disminución de olores. Memorias del Segundo Seminario de Manejo y Reciclaje de Residuales Porcinos. Octubre 22 al 25; Querétaro, México, 1997.
- Roja GO. Ensilaje de Excreta de Cerdo en Etapa de Iniciación con grano de sorgo molido para la Alimentación de Cerdos en Etapa de Finalización. (tesis de licenciatura). México D.F. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM, 1984.
- Rubio LM. Efecto del tiempo de secado y la adición de melaza en el ensilaje de cerdaza. (tesis de licenciatura) Chapingo (Edo. De México) México: Universidad Autónoma de Chapingo, 1995.

- Sagarnaga VL. Evolución y perspectivas de la porcicultura mexicana. Memoria XXXIII Reunión Nacional de Investigación Pecuaria; 1997 Noviembre 3 al 8: Veracruz, México, 1997.
- Salazar GG. Manejo de estiércol de cerdo para su reciclaje en la alimentación de cerdos en etapa de crecimiento-finalización. (tesis de Maestría). Cuautitlán (Edo. de México) México: Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán, UNAM, 1994.
- San Martín RA. Alternativas químicas para el tratamiento de aguas residuales porcinas. Memorias del Segundo Seminario Manejo y Reciclaje de Residuales Porcinos. 1997 Octubre 22 al 25; Querétaro, México, 1997.
- SAS Statistical Analysis System, SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA. 1989).
- Schmidt D. Livestock Manure: an overview of environmental concerns. Minesota Extension Service. University of Minesota . Minesota, EEUUA, 1997.
- Smith LW. Research needs on the utilization aspects of the feeding of animal wastes. J of Anim Sci 1981;52:4 902-905.
- Sievers DM, Jenner MW. Treatment of dilute manure wastewaters by chemical coagulation. Trans. ASAE. 1994;37:2 597-601.
- Sutton LA. Utilization of Swine Manure Solids in Ruminant Diets. Memorias del Primer Cielo Internacional de Conferencias Sobre Manejo y Aprovechamiento de Estiércol de Cerdos; 1990 CINVESTAV Guadalajara, Jal. México, 1990.
- Sweeten JM. Lagoon systems for swine waste treatment. Pork Industry Handbook Cooperative Extension Service. Prude University Prude, EEUUA, 1995.
- Taiganides EP. Pig waste: Management and recycling. 1992 International Development. Research Center. Canada, 1992.
- Taiganides PE. Manual para el Manejo y control de aguas residuales y excretas porcinas en México Consejo Mexicano de Porcicultura Ciudad de México, México, 1996.
- Tejeda H. Manual de laboratorio para análisis de ingredientes utilizados en la alimentación animal. 1ª Ed. PAIEPEME. Ciudad de México, México, 1985.
- Teotia JS, Miller BF. Factor influencing catalbolism of poultry manure with *Musca domestica*. Poultry Sci. 1970;49:1443.

- Tyler M.G. Ecología y Medio Ambiente. Versión en español. Madrid, España. Grupo Editorial Iberoamericano, 1994.
- Vare VH, Robinson IM, Jung JG. Influence of dietary fiber on xylanolytic and cellulolytic bacteria of adult pigs. Appl. Environm. Microbiol. 1987;53:22-26.
- Varel VH, Yen JT. Microbial Perspective on fiber utilization by swine. J. Anim. Sci. 1997;75:2715-2722.
- Verstegen M, den Hartog L. Nutrition and the environment. Manipulating waste products. 15th International Pig Veterinary Society Congress; 1998 julio 5-9; Birmingham, Inglaterra, 1998.
- Villasana GJA.: Producción de larva de mosca común (*Musca domestica L.*) y su evaluación biológica como fuente de proteína y energía en raciones para aves. (tesis de licenciatura). Chapingo (Edo. de México) México: Depto. de Zootecnia, Universidad Autónoma de Chapingo, 1981.
- Viniegra GG. Consideraciones técnicas y económicas sobre la recirculación de Residuos orgánicos de las granjas porcinas de México. Memorias del Primer Ciclo Internacional de Conferencias sobre el aprovechamiento de estiércol de cerdo; 1990 Guadalajara (Jalisco) México; Centro de Innovaciones Tecnológicas Avanzadas, IPN
- Wathes CM. Environmental control in pig housing. 15th International Pig Veterinary Society Congress; 1998 julio 5-9; Birmingham, Inglaterra, 1998.
- Williams LJ. Nutritional aspects of refeeding cattle manure to ruminants. J. Agric. Food. Chem. 1979;27:4.
- Williams RE, Hall RD, Broce AB. Livestock Entomology. 2a ed. Nueva York, EEUUA, Wiley-Intersc. Pub. 1985.
- Woolford K. The silage fermentation. Nueva York, EEUUA Marcel-Dekker Inc, 1984.
- Zhemchuzhina AA, Chernysh SI. Reproductive activity of the housefly, *Musca domestica L.*, in culture conditions. Appl. Entomol. B. 1986;77(8):2376.

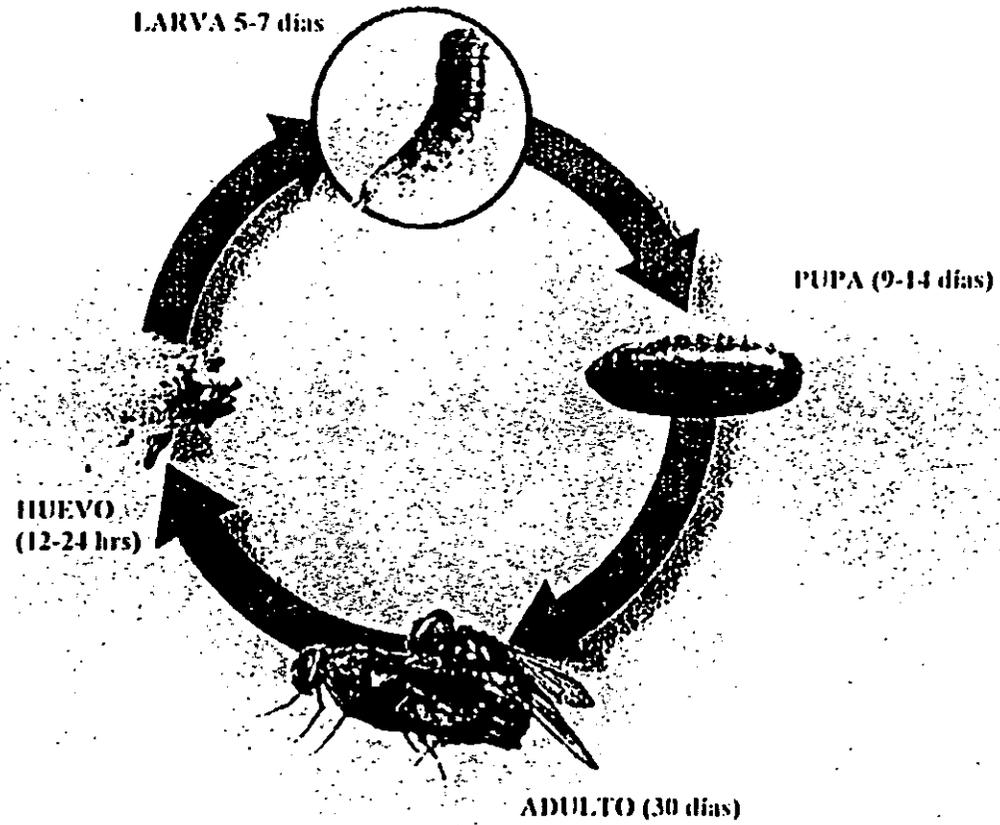


Figura 1. Ciclo biológico de la mosca doméstica (*Musca domestica*)

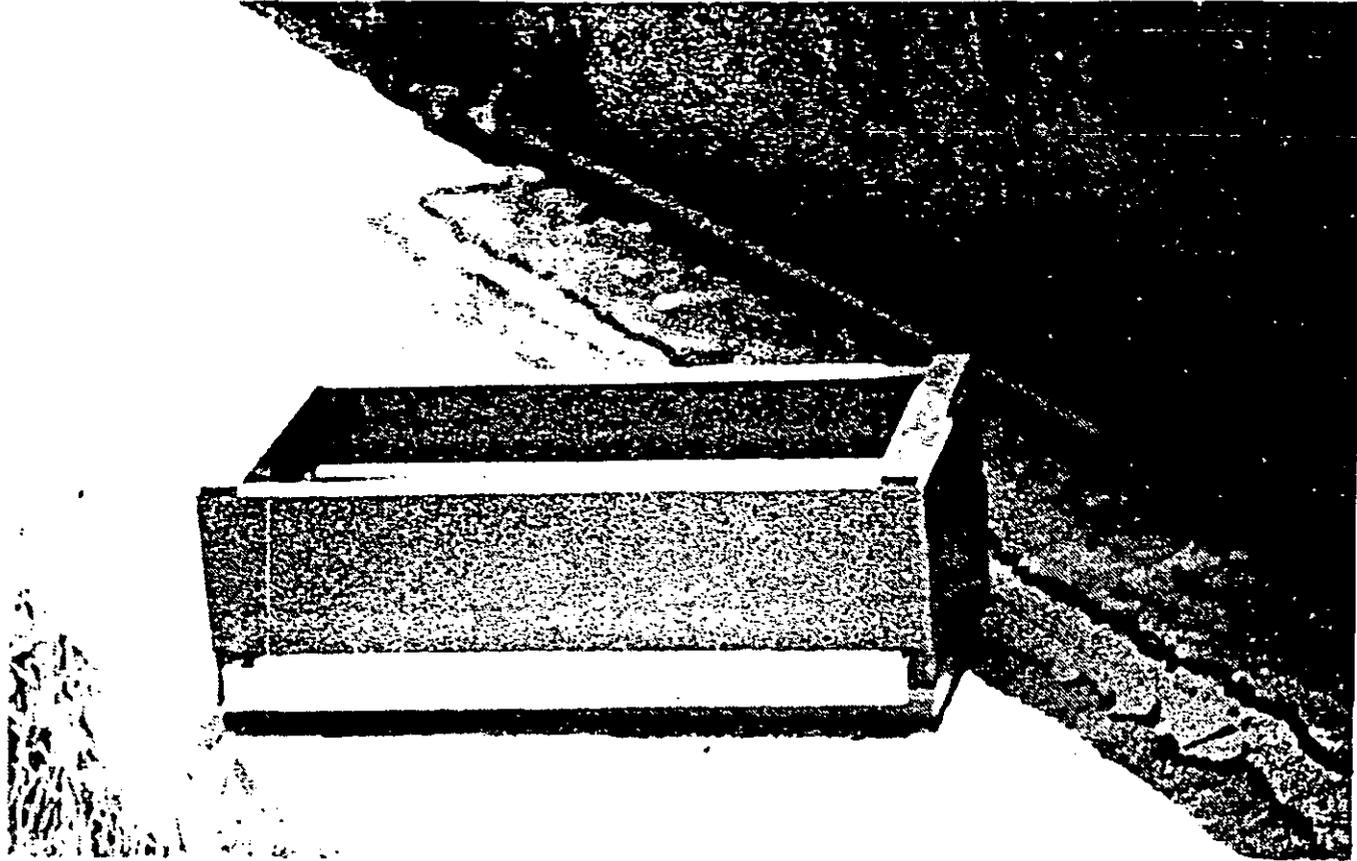


Figura 3. Caja para la colecta de larvas de mosca

CUADRO 1

Microorganismos presentes en el inóculo comercial de bacterias acidificantes^a

Cultivo seco viable	Cantidad (gramos de producto) ^b
Streptococcus faecium	9 x 10¹⁰ UFC^c
Lactobacillus plantarum	9 x 10¹⁰ UFC
Vehículo	Suero de leche deshidratada

^a Agente inoculante para ensilar 1174. Pioneer Hi-bred International Inc. Iowa, EEUA

^b Dosis recomendada por el laboratorio: 1g/ ton de forraje, disuelto en 2 litros de agua.

^c UFC, Unidades formadoras de colonias

CUADRO 2

Producción de larvas en 1 kg de excreta de cerdo a partir de la inoculación de 1g de huevos de mosca doméstica¹

Semana	gramos de larva/kg excreta ²	% Materia Seca
1	42.5	33.52
2	40.5	35.29
3	42.0	25.28
4	45.0	28.77
5	46.25	30.93
Promedio	43.25	

¹ Los valores son el promedio de la larva obtenida de 4 charolas con 1kg de excreta fresca cada una.

² Cantidad de larva obtenida a los 7 días de inoculación y después de separada la excreta.

CUADRO 3

Análisis químico proximal de la larva de mosca cultivada en 1 kg de excreta de cerdo a partir de 1g de huevo de mosca doméstica¹

Parámetro	
Proteína Cruda, g/kg	14.81
Grasa, g/kg	3.93
Fibra Cruda, g/kg	2.55
⁴⁸ Cenizas, g/kg	1.70
Extracto Libre de Nitrógeno, g/kg	7.73
Total de Nutrientes digeribles, g/kg	27.3
Energía metabolizable, kcal/kg (aprox)	2,894
Energía digerible, kcal/ kg (aprox)	3,530

¹ Promedio de datos obtenidos de las 20 muestras

CUADRO 4

Intervalo de temperatura y pH obtenidos en el ensilado de excreta de cerdo mezclado con sorgo y melaza al inicio (día 0) y al final (día 15) del proceso

Semana	S ₀		S ₁₅		S ₁₅ -S ₀	S ₀ -S ₁₅
	Temp °C	pH	Temp °C	pH	Temp °C	PH
1	13.3	6	23.57	4.2	10.27	1.8
2	14.63	6	24.06	4.7	9.43	1.3
3	18.53	6	23.77	4.6	5.25	1.1
4	16.05	5.8	24.45	4.5	11.50	1.3
5	14.05	5.5	24.35	4.1	10.30	1.4
Promedio	15.31	5.8	24.35	4.4	9.35	1.4

S₀ Mezcla de excreta de cerdo (8.3 kg), sorgo molido (1.0 kg) y melaza (0.7 kg) al día 0

S₁₅ Ensilado de excreta de cerdo al día 15

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

CUADRO 5

Composición químico proximal de la excreta de cerdo utilizada como sustrato para la producción de larva de mosca o ensilada con sorgo y melaza¹

%		Parámetro				
	Materia Seca	Proteína Cruda	Fibra Cruda	Grasa	Cenizas	Nitrógeno no proteínico ²
L0	29.38	9.47±1.12^a	3.50±0.6^a	6.20±2.7^a	5.87±1.04^a	1.27±0.58^a
L7	53.90	18.74±2.3^b	8.8±0.86^b	6.94±2.7^a	10.68±0.48^b	3.48±0.96^b
S0	40.09	14.44±2.18^b	5.0±1.45^c	3.5±0.98^a	4.0±0.67^c	1.71±0.89^c
S15	40.83	6.74±0.80^c	2.88±0.7^c	4.33±1.6^a	3.36±0.88^c	2.32±0.71^c

¹ Los valores están dados en g/kg B.S. y representan la media de 20 muestras

² Determinado al sustraer el valor de la proteína verdadera de la proteína cruda

L0 Excreta de cerdo fresca

L7 Excreta de cerdo 7 días después de ser utilizada como sustrato por la larva de mosca

S0 Mezcla de excreta de cerdo (83%), sorgo (10%) y melaza (7%) antes de ser ensilada

S15 Mezcla de excreta de cerdo (83%), sorgo (10%) y melaza (7%) después de ser ensilada

** Los valores con diferentes literales en una columna difieren (p<0.05) entre sí

CUADRO 6

Resultados del análisis microbiológico realizado en excreta de cerdo antes y después de ser aprovechada como ensilado o como sustrato para el desarrollo larvario de la mosca doméstica

<i>Muestra</i>	L₀		L₇		S₀		S₁₅		LM	
	Salmonella spp	E. Coli	Salmonella spp	E. Coli	Salmonella spp	E. Coli	Salmonella spp	E. Coli	Salmonella spp	E. Coli
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	+	-	-	-	+	-	+	-	-
4	-	+	-	-	-	+	-	+	-	-
5	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-
6	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-
10	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Negativo</i>	10	4	10	10	10	5	10	8	10	10
<i>Positivo</i>	0	6	0	0	0	5	0	2	0	0

L₀ Excreta de cerdo fresca
L₇ Excreta de cerdo 7 días después de ser utilizada como sustrato por la larva de mosca
S₀ Mezcla de excreta de cerdo (835), Sorgo (10%) y melaza (7%) antes de ser ensilada
S₁₅ Mezcla de excreta de cerdo (835), Sorgo (10%) y melaza (7%) después de 15 días de ser ensilada
LM Larva de mosca cultivada en excreta de cerdo