



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Zootecnia

**EVALUACIÓN DE ESTIÉRCOLES DE ORIGEN ANIMAL CON O
SIN ADITIVO PARA LA PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL

PRESENTA

ALEJANDRO ALVITER AGUILAR



Agosto de 2003

Chapingo, Estado de México

EVALUACIÓN DE ESTIÉRCOLES DE ORIGEN ANIMAL CON O SIN ADITIVO PARA LA PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO

Tesis realizada por Alejandro Alviter Aguilar bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL

DIRECTOR: _____

Ph. D. José Guadalupe García Muñiz

ASESOR: _____

Dra. Ma. Edna Alvarez Sánchez

ASESOR: _____

Ph. D. Rodolfo Ramírez Valverde

DEDICATORIAS

Quiero dedicar muy profundamente esta tesis a mis padres Macario Alviter Ponce y Adela Aguilar Cruz. Gracias por todo. No olviden que detrás de mi están otros que requieren de lo mismo.

A mis hermanos Claudia Ines, Adelina y David, estoy seguro de su capacidad y talento para seguir siempre firmes en la conquista de nuevos conocimientos que les permitan ser cada día mejores. Hagan suyo la frase “Llena tu mente, que tu mente llenará tus bolsillos”.

A mis abuelitos Felipe y Arcadia que aunque cansados por el pasar de los años, comparten conmigo sus vidas, sus experiencias, sus consejos y su confianza. Sigo trabajando para cumplir mis sueños que de niño tuve, cuando corría con ustedes en el campo abrigados por la tormenta, el sol y el viento.

A mis colegas y compañeros presentes y ausentes de este posgrado, por su amistad y apoyo. Muy especialmente a los Ingenieros Alfredo Rodríguez (Dr. Muertes), Juan Noguez (Juanito Playboy) y a Socorro Medina (La Coco) por estar conmigo en el campo de batalla y compartir mis ideales. Simplemente gracias.

A todos mis familiares y amigos que por espacio en esta hoja no me permite escribir sus nombres, pero que están presentes en todo momento.

Alejandro

AGRADECIMIENTOS

A ***Dios*** por permitirme tomar las oportunidades con seguridad e incrementar el conocimiento de la hermosa naturaleza producto de su creación.

Sólo existe una forma de pagar la formación académica y humana que la Universidad Autónoma Chapingo me ha brindado, y es con trabajo constante y de calidad que deje en alto su nombre.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico para la realización de mis estudios de Maestría en Ciencias.

Nuevamente al Departamento de Zootecnia por participar en la construcción de esta segunda etapa profesional.

Al Ph. D. José Guadalupe García Muñiz por compartir conmigo parte de sus conocimientos científicos y técnicos, y por la dirección de la presente tesis. Doctor “*HASTA LA VICTORIA SIEMPRE*”.

A la Dra. Edna Álvarez Sánchez por sus conocimientos transmitidos en las aulas y su paciencia en la realización de la tesis. Por su grande dedicación a la investigación y docencia, es de los maestros que se recuerdan siempre.

Al Ph D. Rodolfo Ramírez Valverde por todo el apoyo que me brindó para realizar de la mejor manera los estudios y concluir en tiempo y forma esta tesis.

A la Bióloga Angélica Marín Campos, laboratorista del área de química de suelos por su apoyo en la realización de los análisis químicos.

Alejandro

DATOS BIOGRÁFICOS

DATOS PERSONALES

Nombre: Alejandro Alviter Aguilar
Fecha de nacimiento: 24 de abril de 1977
Lugar de nacimiento: Pacheco de Allende, Municipio de San Salvador, Hgo.
Profesión: Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia

FORMACIÓN ACADÉMICA

1983-1989 Escuela Primaria Ignacio Allende, Pacheco de Allende, Hgo.
1989-1992 Escuela Secundaria Federal Ignacio Manuel Altamirano, Poxindeje de Morelos, Hgo.
1992-1995 Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Méx.
1995-1999 Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Méx.
2001-2003 Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Méx.

EXPERIENCIA PROFESIONAL

1999-2001 Auxiliar administrativo, Confederación Nacional Agronómica, A. C. México, D. F.

CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIAS.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
DATOS BIOGRÁFICOS.....	v
CONTENIDO.....	vi
LISTA DE CUADROS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	2
CAPÍTULO 2.....	4
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Impacto ecológico de las excretas.....	5
2.2 Contenido de nutrimentos en los estiércoles.....	5
2.3 Composteo de estiércol.....	8
2.4 La lombriz roja californiana y sus requerimientos fisicoquímicos.....	13
2.5 Vermicomposta.....	15
2.6 Uso de aditivos en el composteo de estiércoles.....	17
2.7 Crecimiento de larvas de mosca en los estiércoles.....	18
LITERATURA CITADA.....	20
CAPÍTULO 3.....	23
Evaluación de estiércoles con o sin aditivo para la producción de abono orgánico. I. Contenido mineral, mortalidad de lombriz roja californiana e infestación con larva de mosca.....	24
CAPÍTULO 4.....	39
Evaluación de estiércoles con o sin aditivo para la producción de abono orgánico. II. Contenido mineral de la vermicomposta, comportamiento de la temperatura y pH durante el proceso de precomposteo	40
CAPÍTULO 5.....	60
RECOMENDACIONES GENERALES.....	61

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Pág.
1. Efecto del almacenamiento de estiércol en la concentración de macro y micronutrientes (en base seca).....	5
2. Valores promedio del contenido mineral de diferentes tipos de estiércol.....	7
3. Valores promedio del contenido de cenizas, relación C/N, pH y conductividad eléctrica de diferentes tipos de estiércol.....	8
4. Efecto de la relación C/N en la pérdida de nitrógeno en estiércol de ave composteado.....	9
5. Valores promedio del contenido mineral de diferentes estiércoles composteados.....	10
6. Contenido de cenizas, relación C/N, pH y conductividad eléctrica en diferentes tipos estiércol composteado.....	11
7. Microorganismos presentes en la composta de estiércoles.....	12
8. Respuesta de <i>Eisenia foetida</i> a diferentes niveles de pH del sustrato.....	15
9. Composición promedio de la vermicomposta.....	17
10. Contenido mineral en diferentes estiércoles de origen animal con o sin aditivo	30

LISTA DE CUADROS (Cont.)

Cuadro	Pág.
11. Porcentaje de humedad, cenizas, materia orgánica, carbono orgánico y relación carbono nitrógeno en diferentes tipos de estiércol de origen animal con o sin aditivo	32
12. Medias de cuadrados mínimos ($\pm$ EE) para temperatura, pH, mortalidad de lombriz y número de larvas de mosca en diferentes tipos de estiércol con o sin aditivo.....	34
13. Caracterización mineral en diferentes estiércoles de origen animal con o sin aditivo.....	46
14. Porcentaje de humedad, ceniza, materia orgánica, carbono orgánico y relación carbono nitrógeno en diferentes tipos de estiércol de origen animal con y sin aditivo.....	47
15. Medias de cuadrados mínimos ($\pm$ EE) para contenido mineral en la vermicomposta de diferentes tipos de estiércol con o sin aditivo.....	49
16. Medias de cuadrados mínimos ($\pm$ EE) para contenido de humedad, cenizas, materia orgánica, carbono orgánico y relación C/N en la vermicomposta de diferentes estiércoles con o sin aditivo.....	51

LISTA DE FIGURAS

Figura	Pág.
1. Medias de cuadrados mínimos ($\pm$ EE) para el efecto de la interacción del tipo de estiércol por proceso para la variable pH del sustrato.....	53
2. Medias de cuadrados mínimos ($\pm$ EE) para el efecto de la interacción del tipo de estiércol por proceso para la variable temperatura del sustrato.....	54
3. Medias de cuadrados mínimos ($\pm$ EE) para el efecto de la interacción del periodo por tipo de proceso para la variable temperatura del sustrato.....	55
4. Medias de cuadrados mínimos ($\pm$ EE) para el efecto de la interacción del tipo de estiércol por periodo para la variable temperatura del sustrato.....	56

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN GENERAL

Los desechos orgánicos se utilizan en la agricultura como fuente de nutrimentos para las plantas, pero también contribuyen a mejorar o mantener las características físicas, químicas y biológicas de los suelos. Razón por la cual son muy empleados para la recuperación de suelos erosionados dedicados a la producción agrícola. Los materiales más comunes son los estiércoles de origen animal, residuos de cultivos y subproductos de la agroindustria, entre otros.

En la actividad ganadera, el estiércol es un problema para las granjas, ya que es fuente de contaminación dentro y fuera de las unidades de producción, por los gases tóxicos y los efluentes que se lixivian a los mantos freáticos. Este problema es mayor en los sistemas de producción animal en condiciones de estabulación ya que se generan grandes cantidades de estiércol que producen mal olor por la degradación de las proteínas y es un medio adecuado para el crecimiento y desarrollo de roedores, moscas y microorganismos patógenos (Zhu, 2000).

Por lo anterior, los ganaderos han buscado técnicas y procedimientos para combatir los problemas que ocasionan. En el caso de granjas porcinas, se han construido lagunas de fermentación y oxidación de los desechos, principalmente el estiércol; en la avicultura, éstos se utilizan en la alimentación de rumiantes como fuentes de proteína y minerales; en los rumiantes, sus estiércoles se adicionan a los suelos agrícolas de donde se obtiene el forraje que se emplea en la alimentación de los mismos (Powers, 2000).

Otros procedimientos de manejo de los estiércoles es la obtención de fertilizantes orgánicos mediante el proceso de composteo y cuando participan lombrices en la degradación de estos residuos se le denomina vermicomposteo (Reinecke *et al.*, 1992). Se considera que éstos son los medios más rápidos y eficientes para resolver el problema global de desechos orgánicos.

Tanto en el composteo como en el vermicomposteo se llevan a cabo reacciones físicas, químicas y biológicas que provocan cambios en el material orgánico en cierto periodo de tiempo (Santamaría-Romero *et al.*, 2001).

Los contenidos de humedad (80% en promedio) del estiércol hacen difícil su manejo para composteo. Para disminuir el contenido de agua se utilizan ingredientes con capacidad para absorber humedad. Las pajas, rastrojos, aserrín y polvos alcalinizantes son algunos de los materiales más usados para este propósito. Uno de los polvos alcalinizantes que se pueden usar para disminuir el contenido de humedad de los estiércoles es la diatomita. La diatomita contiene componentes inorgánicos como alúmina y hierro, con propiedades alcalinizantes, es químicamente inerte y tiene gran capacidad de absorber y retener agua por su gran superficie de contacto (Misra y Roy, 2002; Oste *et al.*, 2002). Estos mismos autores mencionan que la diatomita tiene la particularidad de inmovilizar metales pesados (tóxicos) y nutrimentos no pesados como el nitrógeno y fósforo, permitiendo reducir el proceso de precomposteo y favorecer el proceso de lombricultura. Los objetivos del presente estudio fueron evaluar el desempeño de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), comparar el contenido mineral del estiércol y la vermicomposta, y evaluar el comportamiento del pH y la temperatura durante el precomposteo de seis tipos de estiércol de origen animal manejados con o sin aditivo.

CAPÍTULO 2

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Impacto ecológico de las excretas

Las excretas en las granjas ganaderas son en muchas ocasiones difíciles de manejar. Este inconveniente comenzó a manifestarse con el advenimiento de la era moderna. Los grandes núcleos ganaderos aumentaron su densidad poblacional, incrementándose así también la cantidad de desechos, convirtiéndose en un ciclo de contaminantes como malos olores, presencia de roedores, foco de enfermedades para el mismo ganado y contaminación de mantos freáticos, entre otros (Leslie *et al.*, 1999).

2.2 Contenido de nutrientes en los estiércoles

El estiércol está compuesto por partículas indigestibles de plantas, células microbianas y secreción endógena de los animales como metabolitos de la microflora del intestino. Los elementos retenidos en el cuerpo del animal representan únicamente una pequeña porción de los ingeridos. El contenido mineral de los estiércoles es diferente y está en función de la raza del animal, tipo de alimento que consumen y las instalaciones donde se alojan.

El almacenamiento del estiércol no afecta la concentración de los nutrientes; sin embargo, el estiércol seco tiene una mayor concentración de nutrientes que el estiércol fresco, como se muestra en el Cuadro 1 (Lupwayi *et al.*, 1999).

Cuadro 1. Efecto del almacenamiento de estiércol en la concentración de macro y micronutrientes (en base seca)

Tipo de estiércol	Mineral								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
	g kg ⁻¹				mg kg ⁻¹				
Fresco	22.1 ^a	5.9 ^a	26.8 ^a	15.0 ^a	7.8 ^a	7983 ^a	704 ^a	27 ^a	114 ^a
Seco	24.8 ^a	6.1 ^a	32.2 ^a	18.7 ^a	8.1 ^a	11293 ^a	931 ^a	37 ^a	195 ^a

^a Dentro de columna, medias seguidas por la misma literal no son diferentes ($P > 0.05$).

Fuente: Lupwayi *et al.* (1999).

Moore y White (1983) describen cinco factores relacionados con la utilización óptima de los nutrientes del estiércol por los cultivos: a) contenido mineral en el estiércol, b) viabilidad de los nutrientes del estiércol por las plantas, c) requerimiento de nutrientes por los cultivos para obtener buenos rendimientos productivos, d) contenido mineral en el suelo y e) frecuencia de aplicación de estiércol a los cultivos.

El fósforo y el potasio del estiércol son similares al de los fertilizantes comerciales y son más disponibles para las plantas (Moore y White, 1983). Los contenidos de fósforo se incrementan en las áreas donde se aplica principalmente estiércol de ave (Krider, 1991). Prigge y Bryan (1991) reportan que aproximadamente el 70% del nitrógeno y 80% de potasio ingeridos por el animal son desechados en la orina y perdidos por volatilización. Únicamente de 5 a 25% del nitrógeno ingerido puede ser retenido por el animal para utilizarlo en funciones de mantenimiento y producción.

Vallis *et al.* (1982, citado por Prigge y Bryan, 1991), indican que el nitrógeno de la orina depositado en el suelo se volatiliza en proporciones que van de 14.4 a 28.4%, y el 50% de esa volatilización ocurre en las primeras 48 horas.

La mayor o menor pérdida de nutrientes del estiércol está en función de las condiciones climáticas, de la textura y pH del suelo (Prigge y Bryan, 1991). En varios experimentos, donde destacan los realizados por Eghball (2002) se ha evaluado el comportamiento del nitrógeno y fósforo del estiércol. El nitrógeno del estiércol fresco está asociado con las proteínas del alimento que consumen los animales y estas proteínas están fuertemente correlacionadas con la digestión de las pepsinas.

Las diferencias en el contenido mineral de los diferentes estiércoles está correlacionado con los minerales del estiércol composteado (Dao y Cavigelli, 2003). En el Cuadro 2 se muestra el contenido mineral de varios tipos de estiércol fresco, donde el nitrógeno, fósforo y potasio son los minerales que han sido más estudiados. En los diferentes tipos de estiércol el promedio de nitrógeno, fósforo y potasio, es de 3.0, 2.6 y 4.2%, respectivamente.

Cuadro 2. Valores promedio del contenido mineral de diferentes tipos de estiércol

Tipo de estiércol	Mineral															Autor
	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Zn	Mn	Cu	Ni	Cr	Pb	Cd		
	%						mg kg ⁻¹									
Bovinos lecheros	1.2	0.5	6.0	4.0	0.8	1.4	4288	28	86	<3	3	8	<3	<0.2	García-Gil <i>et al.</i> , 2000	
Bovinos lecheros	1.7	5.0	4.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Smith, 1991	
Bovinos lecheros	0.5	0.2	0.2	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Martínez, 1998	
Bovinos lecheros	1.4	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Eghball y Power, 1999	
Bovinos lecheros	3.1	1.9	10.0	6.2	1.9	-	7983	114	70.4	27	-	-	-	-	Lupwayi <i>et al.</i> , 2000	
Bovinos lecheros	2.9	1.3	3.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Griffin <i>et al.</i> , 2003	
Bovinos lecheros	3.2	2.2	8.6	1.4	1.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Whalen <i>et al.</i> , 2000	
Bovinos de engorda	2.2	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Dao y Cavigelli, 2003	
Bovinos de engorda	2.1	1.2	3.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Griffin <i>et al.</i> , 2003	
Gallinaza	1.0	0.8	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Martínez, 1998	
Gallinaza	3.3	1.8	1.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Romero-Lima <i>et al.</i> , 2000	
Pollinaza	6.8	1.4	0.8	2.5	0.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Galler y Davey, 1971	
Pollinaza	6.3	8.8	3.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Smith, 1991	
Pollinaza	1.2	0.4	0.5	1.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Barnard y Harms, 1992	
Pollinaza	7.7	7.3	12.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Griffin <i>et al.</i> , 2003	
Cerdo	3.8	5.4	4.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Smith, 1991	
Cerdo	1.0	0.8	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Martínez, 1998	
Cerdo	7.1	7.6	9.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Griffin <i>et al.</i> , 2003	
Ovino	1.7	0.1	2.1	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Martínez, 1998	
Ovino	3.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Smith, 1991	
Caballo	2.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Smith, 1991	

El manejo adecuado del estiércol permite reducir las pérdidas de nutrientes. Sin embargo, existen otras características como porcentaje de cenizas, relación carbono-nitrógeno (C/N), pH y conductividad eléctrica (CE) que determinan la velocidad en que los microorganismos puedan degradar la materia orgánica y que los nutrientes puedan ser absorbidos por las plantas. En el Cuadro 3, se presentan los contenidos de cenizas, relación C/N, así como el pH y conductividad eléctrica de diferentes estiércoles de origen animal, los cuales están determinados por el tipo de alimento que consumen los animales. El contenido de cenizas está en el intervalo de 6.3 a 70.6%, la relación C/N de 6.3 a 33.6, el pH de 6.5 a 8.8 y la conductividad eléctrica de 1.4 a 29.6 ds m⁻¹ (Cuadro 3).

Cuadro 3. Valores promedio del contenido de cenizas, relación C/N, pH y conductividad eléctrica de diferentes tipos de estiércol

Tipo de estiércol	Cenizas (%)	C/N	pH	CE (ds m ⁻¹)	Autor
Bovinos lecheros	64.1	15.9	8.8	7.0	García-Gil <i>et al.</i> , 2000
Bovinos lecheros	70.6	13.0	7.9	4.7	Eghball y Power, 1999
Bovinos lecheros	13.7	17.4	7.6	-	Yang, 2001
Bovinos lecheros	-	11.0	-	-	Griffin <i>et al.</i> , 2003
Bovinos lecheros	-	10.9	6.8	29.6	Whalen <i>et al.</i> , 2000
Bovinos de engorda	-	29.6	-	-	Griffin <i>et al.</i> , 2003
Bovinos de engorda	-	16.0	7.8	1.4	Dao y Cavigelli, 2003
Ovino	17.0	32.0	-	-	Martinez, 1998
Pollinaza	47.8	11.0	-	-	Martinez, 1998
Pollinaza	-	-	6.5	-	Barnard y Harms, 1992
Pollinaza	-	6.3	-	-	Griffin <i>et al.</i> , 2003
Pollinaza	30.8	11.5	8.1	-	Yang, 2001
Pollinaza	-	33.6	8.8	-	Galler y Davey, 1971
Cerdo	-	7.7	-	-	Griffin <i>et al.</i> , 2003
Cerdo	6.3	14.7	6.5	-	Yang, 2001
Cerdo	46.9	16.0	-	-	Martinez, 1998
Caballo	3.8	18.0	-	-	Martinez, 1998

2.3 Composteo de estiércol

El composteo puede ayudar a resolver algunos de los problemas asociados con la producción de estiércol y su posible aplicación en los suelos agrícolas (Krider, 1991). El composteo es un proceso bioquímico de la descomposición del estiércol, el cual está determinado por los microorganismos termofílicos. Comparado con otros métodos de tratamiento del estiércol, la composta se realiza en condiciones aeróbicas (Galler y Davey,

1971). Factores microambientales determinan el curso y velocidad del proceso y algunos componentes de la descomposición aeróbica generan malos olores.

La composta produce líquidos residuales (ácidos húmicos) los cuales pueden emplearse en la jardinería, clubes de golf y en la producción de todas las variedades de cultivos agrícolas (Krider, 1991). Las compostas elaboradas con desechos de origen animal son diferentes en composición y calidad a las provenientes de productos agrícolas (Jung y Yang, 2001). Comparados con las pajas y rastrojos, las compostas elaboradas con estiércoles de origen animal son bajas en materia orgánica y altas en nutrimentos. Las aplicaciones excesivas de material composteado proveniente de estiércoles de origen animal producen efectos detrimentales en los cultivos y en el suelo, debido a la acumulación de sales, presencia de patógenos, aumento en el número de semillas de malezas y contaminación del agua (Dao y Cavigelli, 2003).

2.3.1 Nutrientes en el estiércol composteado

El contenido de agua en el sustrato es importante para la realización de un buen composteo, el cual debe estar en el rango de 50 a 65% de la capacidad de retención del desecho y con una aireación no mayor a 30% (Jung y Yang, 2001). Además, el rango óptimo de la relación C/N debe ser de 30 a 50. En el Cuadro 4 se presenta el efecto que tiene la relación C/N y el pH en la pérdida de nitrógeno de estiércol de ave composteado. Las pérdidas mayores de nitrógeno se presentan cuando aumenta la relación C/N.

Cuadro 4. Efecto de la relación C/N en la pérdida de nitrógeno en estiércol de ave composteado

Experimento	C/N	Pérdida de nitrógeno (%)	pH final
1	42:1	4.5	8.8
2	31:1	7.9	8.9
3	35:1	5.9	8.4
4	28:1	7.2	8.9
5	38:1	3.8	8.9
6	43:1	2.7	8.8
7	25:1	3.8	8.7
8	27:1	3.3	8.8

Fuente: Galler y Davey (1971).

Los contenidos minerales son necesarios para el metabolismo adecuado de los microorganismos responsables del proceso de composteo (Galler y Davey, 1971). Sawyer (1956, citado por Galler y Davey, 1971), mencionan que para obtener un buen proceso de composteo, la relación nitrógeno:fósforo debe ser 5:1 y la relación carbono:nitrógeno:fósforo debe ser de 30 a 50:1:0.2.

El nitrógeno es muy dinámico y en la composta se encuentra en muchas formas. Las formas orgánicas de nitrógeno son las más estables. Sin embargo, el amoníaco que es una de las formas más importantes en que se encuentra el nitrógeno en la composta, está en forma de gas y fácilmente se volatiliza, incrementando la presencia de olores indeseables en la composta (Galler y Davey, 1971). Por otro lado, el nitrógeno en forma de nitrato es susceptible de lixiviarse por ser más soluble en agua. Para conservar el nitrógeno en formas más estable como el radical amonio, es necesario bajar los niveles de pH y temperatura, así como lograr una adecuada mezcla de la composta (Smith, 1991). En el Cuadro 5 se presentan las medias del contenido mineral de diferentes estiércoles procesados a través de composteo.

Cuadro 5. Valores promedio del contenido mineral de diferentes estiércoles composteados

Tipo de estiércol	Mineral														Autor
	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Zn	Mn	Cu	Ni	Cr	Pb	Cd	
	%						mg kg ⁻¹								
Bovinos lecheros	2.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Yang, 2001
Bovinos lecheros	1.2	0.5	6.0	4.0	0.8	1.4	4288	28	86	<3	3	8	<3	<0.2	Garcia-Gil <i>et al.</i> , 2000
Bovinos lecheros	1.9	1.5	16.0	16.4	0.8	6.4	11662	1325	175	548	81	83	681	<0.2	Garcia-Gil <i>et al.</i> , 2000
Bovinos lecheros	1.4	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Eghball y Power, 1999
Bovinos lecheros	3.1	1.9	10.0	6.2	1.9	-	7983	114	70.4	27	-	-	-	-	Lupwayi <i>et al.</i> , 2000
Bovinos de engorda	1.2	1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Eghball y Power, 1999
Bovinos de engorda	3.2	2.2	8.6	1.4	1.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Whalen <i>et al.</i> , 2000
Pollinaza	2.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Yang, 2001
Cerdo	3.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Yang, 2001

El estiércol de bovino, principalmente el lechero, es el que más se ha estudiado para determinar sus contenidos de nitrógeno y fósforo cuando son procesados por composteo. Este estiércol contiene en promedio 2.0% de nitrógeno y 1.4% de fósforo (Cuadro 5).

La velocidad del proceso de composteo de los estiércoles depende de sus contenidos de materia orgánica, pH, conductividad eléctrica y de la relación C/N. En el Cuadro 6 se reportan los contenidos de estos elementos en diferentes tipos de estiércol. En general, el contenido de ceniza del estiércol de bovinos lecheros varía de 40 a 64%, la relación C/N de 9 a 22, el pH de 7.7 a 8.8 y la conductividad eléctrica de 5.4 a 7.0 ds m⁻¹.

Cuadro 6. Contenido de cenizas, relación C/N, pH y conductividad eléctrica en diferentes tipos estiércol composteado

Tipo de estiércol	Cenizas (%)	C/N	pH	CE (ds m ⁻¹)	Autor
Bovinos lecheros	64.1	15.9	8.8	7.0	García-Gil <i>et al.</i> , 2000
Bovinos lecheros	40.0	22.0	8.7	-	Yang, 2001
Bovinos lecheros	81.2	8.6	7.7	5.4	Eghball y Power, 1999
Bovinos de engorda	66.7	8.7	7.9	7.0	García-Gil <i>et al.</i> , 2000
Cerdo	20.0	19.8	8.0	-	Yang, 2001
Pollinaza	55.0	18.1	8.6	-	Yang, 2001

De los diferentes grupos de microorganismos presentes en las compostas, se tienen algunas especies muy particulares que habitan en mayor grado en estos sustratos. Los nombres científicos de los microorganismos que integran las poblaciones de los diferentes grupos de microorganismos en los estiércoles composteados se presentan en el Cuadro 7. Los hongos son los microorganismos que se encuentran en un número mayor de especies, seguidos por los actinomicetos y al último están las bacterias.

Cuadro 7. Microorganismos presentes en la composta de estiércoles

Grupo	Géneros
Bacterias	<i>Bacillus, Clostridium, Pseudomonas y Streptococcus</i>
Hongos	<i>Absidia, Allescheria, Aspergillus, Chaetomium, Coprinus, Dactylomyces, Humicola, Lenzites, Malbranchea, Mortierella, Mucor, Myriococcum, Papulaspora, Penicillium, Rhizopus, Scytalidium, Sporotrichum, Talaromyces, Thermoascus, Thielavia y Torula</i>
Actinomicetos	<i>Acrinobifida, Microbispora, Nocardia, Pseudonocardia, Streptomyces, Thermoactinomyces y Thermomonospora</i>

Fuente: Shang, 2001.

Todas las reacciones químicas de los microorganismos son catalizadas por enzimas, las cuales no sufren cambios durante las reacciones en las que intervienen durante el proceso de composteo. Existen seis clases de enzimas que participan en el proceso de composteo. Su nombre se basa en el tipo de reacción que catalizan. Las principales clases de enzimas son: deshidrogenasa, catalasa, ureasa, proteasa, fosfatasa y glucosidasa (García-Gil *et al.*, 2000; Quintero *et al.*, 2003).

2.3.2 pH de la composta

Galler y Davey (1971) al evaluar el composteo de estiércol de aves, encontraron valores de pH al inicio del proceso de 5.4 a 7.2, para posteriormente alcanzar valores entre 8.5 y 9.0. El pH alto se asocia con la pérdida de materia seca (Willson, 1971). Por otra parte, Yang (2001) reporta que el pH óptimo para el crecimiento de los microorganismos que favorecen el proceso de composteo se encuentra en el rango de 7.0 a 8.0.

2.3.3 Temperatura de la composta

Las temperaturas altas son necesarias para un buen proceso de composteo. Sin embargo, temperaturas excesivamente altas inhiben el crecimiento de los microorganismos que favorecen el composteo y retardan la degradación de la materia orgánica (Yang, 2001). La temperatura óptima para una buena actividad de los microorganismos de las compostas se encuentra en el intervalo de 45 a 60°C. La temperatura máxima que alcanza la composta ocurre durante la primera semana y dependerá de la actividad de los microorganismos para que se mantenga o comience a descender (Willson, 1971).

Galler y Davey (1971) evaluaron la temperatura de la composta de estiércol de ave, donde se presentaron cambios en el orden de 60 y 70 °C en un intervalo de 30 horas después de haberse iniciado el proceso de composteo y los cambios dependieron del grado de aireación de la cama y de la relación C/N del sustrato.

Terminado el proceso de composteo, el rendimiento en peso seco de la composta es 60% del material original; su volumen también se reduce entre 10 y 45% del volumen del material original, y puede ser almacenada sin presencia de malos olores (Willson, 1971; Krider, 1991).

2.3.4 Requerimientos de aireación y relación C/N en la composta

El oxígeno es esencial para la actividad de los microorganismos aeróbicos que se desarrollan en el proceso de composteo. La concentración óptima de oxígeno para un buen composteo debe ser entre 15 a 20%, y la concentración de dióxido de carbono de 0.5 a 5%. Porcentajes de oxígeno menores a los anteriormente citados, provocará el desarrollo de los microorganismos anaeróbicos, por lo que el consumo de oxígeno durante el composteo es directamente proporcional a la actividad de los microorganismos (Yang, 2001).

La relación C/N inicial para compostear materiales es de 25 (Yang, 2001). Una baja relación C/N retrasa la descomposición del material a compostear e incrementa las pérdidas de nitrógeno. Si la relación C/N inicial es mayor a 35 los microorganismos se reproducirán rápidamente y podrán oxidar los excesos de carbono.

2.4 La lombriz roja californiana y sus requerimientos fisicoquímicos

La lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) es de color rojo púrpura, su engrosamiento (clitelo) se encuentra un poco céntrico, su cola es achatada y mide aproximadamente de 8 a 10 cm de longitud. La *E. foetida* es una especie muy resistente a condiciones adversas del medio, ya que es el resultado de más de 20 años de experimentos de selección efectuados por científicos estadounidenses del estado de California (Martinez, 1998).

2.4.1 Requerimientos de humedad

La humedad es un factor de gran importancia en la reproducción y fecundidad de las cápsulas o cocones de la lombriz. Contenidos de humedad en el sustrato superiores a 85% son nocivos para las lombrices, ya que provocan que éstas entren en un periodo de dormancia, lo que afecta la producción de vermicomposta y su reproducción (Martinez, 1998). El contenido de humedad de la composta para que la lombriz se reproduzca adecuadamente es del 70 a 80%; contenidos de humedad menores a 70% disminuyen su actividad productiva y reproductiva. Contenidos de humedad menores a 55% provocan la muerte de las lombrices. Por otro lado, el exceso de humedad también puede provocar la muerte de la lombriz. Así, Kaplan *et al.* (1980) reportan mortalidades de lombriz cuando en contenido de humedad fue mayor a 90%. Este mismo autor también observó altas mortalidades cuando el contenido de humedad de la composta fue menor a 67%, y se obtuvo el mejor comportamiento de la lombriz cuando el contenido de humedad de la composta fue de 70 a 85%.

2.4.2 Requerimientos de temperatura

La temperatura es otro de los factores que influyen en la reproducción, fecundidad de los cocones y producción de lombricomposta. El rango óptimo de temperatura para la máxima actividad de las lombrices es de 20 a 28 °C. Las lombrices obtienen sus mayores ganancias de peso cuando la temperatura de la composta es de 25 a 28 °C. Temperaturas ≤ 5 °C pueden provocar mortalidad hasta de 30% de la población de lombriz, y con temperaturas de 33 °C la mortalidad se incrementa a 70% (Kaplan *et al.*, 1980). Estos mismos autores mencionan que las lombrices que no mueren, pierden peso por efecto de temperaturas que no están dentro del rango considerado como óptimo para su crecimiento.

2.4.3 Requerimientos de pH

La lombriz se desarrolla favorablemente en sustratos con pH de 5.0 a 8.4. Con valores de pH en el sustrato menores a 5.0 y mayores a 8.4 la lombriz entra en una etapa de dormancia. En un experimento realizado por Kaplan *et al.* (1980) se encontró que todas las lombrices murieron en la primera semana cuando el pH inicial del sustrato fue menor a 5.0 o mayor a

9.0. En este mismo experimento, las lombrices que se inocularon en sustratos con valores iniciales de pH de 6.0 a 9.0, lograron incrementos de peso significativos (Cuadro 8).

Cuadro 8. Respuesta de *Eisenia foetida* a diferentes niveles de pH del sustrato

Experimento	pH final	Sobrevivencia (días)	Cambio de peso (%)
1	7.0	6	Todas muertas
2	8.0	7	Todas muertas
3	8.0	7	Todas muertas
4	5.4	14	+146
5	5.9	14	+187
6	6.4	14	+234
7	6.6	14	+202
8	7.0	14	+220
9	8.7	7	Todas muertas

Fuente: Kaplan *et al.* (1980).

2.5 Vermicomposta

La vermicomposta es el proceso biotecnológico que acelera la descomposición y estabilización de los residuos orgánicos por medio de la cría de lombrices. Los residuos se transforman en productos de buena calidad, útiles para el crecimiento de las plantas y mejoramiento de la fertilidad de los suelos. La composición química de los estiércoles es de gran importancia para obtener un desarrollo óptimo de las lombrices cuando son alimentadas con estos sustratos. Los excesos de amonio por efecto de la degradación de la proteína pueden inhibir el crecimiento o provocar la muerte de las lombrices (Yang, 2001).

2.5.1 Principales características de la vermicomposta

La vermicomposta se considera el fertilizante orgánico por excelencia. Es el producto que sale del sistema digestivo de la lombriz, es de color oscuro, con un agradable olor a mantillo de bosque. Es limpio, suave al tacto y su gran bioestabilidad evita su fermentación o putrefacción (Martínez, 1996). La vermicomposta contiene una alta carga enzimática y bacteriana que aumenta la solubilización de los nutrientes haciendo que puedan ser

inmediatamente asimilables por las raíces de las plantas. Por otra parte, la vermicomposta también impide que estos sean lixiviados por el agua de riego manteniéndolos por más tiempo en el suelo (Martínez, 1998).

Martínez (1998) describe las características más importantes de la vermicomposta como fertilizante: a) por su pH neutro permite ser utilizada en todas las plantas y cultivos agrícolas, b) contribuye al mantenimiento y enriquecimiento de la microflora y microfauna del suelo, c) favorece la absorción de nutrimentos y agua por el sistema radical de las plantas, d) regula el incremento y la actividad de los nitratos en el suelo, e) transmite directamente a la planta hormonas, vitaminas, proteínas y otras fracciones humificadoras, f) aporta macro y microminerales y los libera gradualmente e interviene en el mejoramiento de las propiedades físicas del suelo, g) neutraliza las sustancias tóxicas y h) facilita la labranza del suelo.

2.5.2 Composición y calidad de la vermicomposta

La composición y calidad de la vermicomposta está en función del valor nutritivo de los desechos que consume la lombriz, del manejo de éstos y de la combinación de los diferentes tipos de estiércoles y otros desechos orgánicos como malezas, desperdicios de cocina, rastrojos, etc.

En el Cuadro 9 se presentan algunos componentes de la vermicomposta. Yang (2001) cita que el contenido de nitrógeno en el producto de la lombricultura es más del doble que en el sustrato original, indicando que la lombricultura puede ser utilizada en la conversión de la proteína de los desechos de origen animal en un producto estable.

Cuadro 9. Composición promedio de la vermicomposta

Componente	%
Materia orgánica	65-70
Humedad	40-45
Nitrógeno	1.5-2.0
Fósforo	2.0-2.5
Potasio	1.0-1.5
Relación C/N	10-11
Ácidos húmicos	3.4-4
Calcio	2.8-13.0
Cenizas	50-20
Hierro	1.3-1.6
Otros:	
Bacterias	40x10 ⁶ colonias por gramo
pH	6.8-7.5
Conductividad eléctrica	3-7 mhos cm ⁻¹
Metales pesados:	
Cadmio	4 ppm
Plomo	250 ppm
Mercurio	3 ppm
Cromo	25 pmm

Fuente: Martínez (1998).

2.6 Uso de aditivos en el composteo de estiércoles

Los estiércoles de origen animal en su mayoría presentan contenidos de humedad de 80%, lo que hace difícil su manejo para composteo. Para disminuir el contenido de agua en el estiércol se utilizan ingredientes con capacidad para absorber humedad. Las pajas, rastrojos, aserrín y polvos alcalinizantes son algunos de los materiales más usados para este propósito. Los materiales celulósicos y polvos alcalinizantes que se mezclan con el estiércol permiten disminuir el contenido de humedad y evitar el crecimiento de microorganismos que generan malos olores y presencia de organismos patógenos.

Uno de los polvos alcalinizantes que se pueden usar para disminuir el contenido de humedad de los estiércoles es la diatomita. La diatomita contiene componentes inorgánicos como alúmina y hierro, con propiedades alcalinizantes, es químicamente inerte y tiene gran capacidad de absorber y retener agua por su gran superficie de contacto. Este compuesto se utiliza para la fabricación de filtros, para material de relleno y como desinfectante químico (Misra y Roy, 2002; Oste *et al.*, 2002). También es de uso preferencial como agente acondicionante para prevenir el endurecimiento o adherencia del nitrato de amonio de uso en la agricultura, productos químicos y fertilizantes (Misra y Roy, 2002).

Con la aplicación de fuentes alcalinizantes como la diatomita se incrementa el pH del sustrato a niveles superiores a 9.0, lo que provoca la muerte de microorganismos presentes en el estiércol (Oste *et al.*, 2002). Estos mismos autores mencionan que la diatomita tiene la particularidad de inmovilizar metales pesados (tóxicos) y nutrimentos no pesados como el nitrógeno y fósforo.

Los materiales celulósicos por su parte tienen como función absorber la humedad y evitar el crecimiento de microorganismos en el estiércol (Zhu, 2000). Sin embargo, si se mezclan con el estiércol para procesarlo a través del composteo, se incrementa el contenido de carbono y se mejora la calidad del fertilizante orgánico generado con estiércol (Yang, 2001). Cuando se adicionen materiales celulósicos al proceso de composteo de estiércoles de origen animal se recomienda el uso de productos con menor contenido de lignina y con mayor contenido de celulosa y hemicelulosa, que son fácilmente degradables por los microorganismos que participan en el proceso de composteo.

2.7 Crecimiento de larvas de mosca en los estiércoles

La degradación del estiércol por moscas es una forma de controlar los problemas de malos olores y de manejo de los excesos de nutrientes del estiércol. El crecimiento de las larvas de mosca en el estiércol reduce el contenido de humedad, nitrógeno y mal olor (Barnard *et al.*, 1998). Este efecto puede lograrse manipulando la densidad de larvas que en él se desarrollan.

En un experimento realizado por Barnard *et al.* (1998) encontraron que densidades de larvas de mosca 300 y 900 por 100 g de estiércol de ave redujeron el contenido de materia seca en 37.2 y 38.2%, respectivamente. En este mismo estudio, densidades de larvas de 600 y 100 por 100g de estiércol, produjeron una disminución de la masa de estiércol de entre 80.3 y 79.1%, respectivamente, y el contenido de materia seca se redujo entre 69.7 y 70.6%, respectivamente. Estos autores concluyeron que la densidad de larvas de mosca tienen influencia en los cambios en la masa de estiércol y que los contenidos de humedad en el estiércol favorable para el crecimiento de las larvas de mosca debe estar entre 35 y 80%.

Barnard y Harms (1992) reportan que contenidos de humedad en el estiércol menores a 40% no son atractivos para que las hembras ovopositen en el sustrato, ya que este nivel de humedad no proporciona las condiciones ambientales para el crecimiento de las larvas. En el experimento realizado por Barnard y Harms (1992) encontraron diferencias estadísticas en la densidad de larvas, sobrevivencia, masa de las pupas, emergencia de adultos, fecundidad y natalidad por efecto del contenido de humedad y nitrógeno. Asimismo, hubo una correlación positiva entre el contenido de fósforo y humedad del estiércol de pollo ($r^2 = 0.4$ y $r^2 = 0.5$, respectivamente) con la sobrevivencia y emergencia de moscas adultas. Estos autores concluyeron que los contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio del estiércol de pollo provocan un efecto favorable en el crecimiento de las larvas de mosca.

LITERATURA CITADA

- Barnard D. R., y H. Harms R. 1992. Growth and survival of house fly in response to selected physical and chemical properties of poultry manure. *J. Econom. Entomol.* 85:1213-1217.
- Barnard D. R., H. Harms R., y D. Sloan R. 1998. Biodegradation of poultry manure by house fly (Diptera: Muscidae). *Environ. Entomol.* 27:600-605.
- Dao T. H., y M. Cavigelli A. 2003. Mineralizable carbon, nitrogen, and water-extractable phosphorus release from stockpiled and composted manure and manure-amended soils. *Agron. J.* 95:405-413.
- Eghball B. 2002. Soil properties as influenced by phosphorus- and nitrogen-based manure and compost applications. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 94:128-135.
- Eghball B., y J. Power F. 1999. Phosphorus- and nitrogen-based manure and compost applications: corn production and soil phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:895-901.
- Galler, W. S., y C. Davey B. 1971. High rate poultry manure composting with sawdust. In: *Livestock Waste Management and Pollution Abatement. Procc. of the International Symposium on Livestock Wastes.* Am. Soc. of Ag. Engineers. North Carolina State University, USA. Pp 159-162.
- García-Gil J. C., C. Plaza, P. Soler-Rovira y A. Polo. 2000. Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.* 32:1907-1913.
- Griffin T. S., C. Honeycutt W., y Z. He. 2003. Changes in soil phosphorus from manure application. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67:645-653.
- Jung K. J., y J. Yang E. 2001. Recycling technology of livestock wastes. 163-194 pp. *In: Proceedings of a seminar in commemoration of FFTC's 30th anniversary national Taiwan University (ed.) Issues in the management of agricultural resources.* Taipei, Taiwan.

- Kaplan L. D., R. Hartenstein,, F. Edward N., y M. Malecki. R. 1980. Physicochemical requirements in the environment of the earthworm *Eisenia foetida*. Soil Biol. Biochem. 12:347-352.
- Krider N., D. 1991. Innovative utilization of animal waste. In: National Livestock Poultry and Aquaculture Waste Management Proc. of the National Workshop. Am. Soc. of Ag. Engineers. Eds. Blake, J., J. Donald and W. Magette. USDA-Soil Conservation Service, Washington, USA. Pp 82-88.
- Leslie, G. C. P., G. Daigger T., y H. Lim C. 1999. Biological Wastewater Treatment. Second Edition. Edit. Marcel Dekker, Inc. New York, USA. Pp 61-113.
- Lupwayi N. Z., M. Girma, y I. Haque. 2000. Plant nutrient contents of cattle manures from small-scale farms and experimental stations in the Ethiopian highlands. Agriculture, Ecosystems and Environment 78:57-63.
- Martínez C., C. 1996. Potencial de la lombricultura. Lombricultura Técnica. Mex. D.F. 134 p.
- Martinez A., A. 1998. A grande e poderosa minhoca: manual prático do minhocultor. 4a. edicao. Editorial ABDR. Sao Pablo, Brasil.
- Misra R. V., y R. Roy N. 2002. On-farm composting methods. Natural Resource, Agriculture and Engineering Service, Cooperative Extension, Ithaka, New. York. USA. 150 p.
- Moore J. A., y R. White K. 1983. Criteria for selecting manure handling and land application systems. In: Dairy Housing II. Proc. of the Second National Dairy Housing Conference. Am. Soc. of Ag. Engineers. Oregon Agricultural Experiment Station Corvallis. Oregon, USA. Pp 36-44.
- Oste L. L., T. Lexmond M., y H. Willem V. 2002. Metal immobilization in soils using synthetic zeolites. J. Environ. Qual. 31:813-821.
- Powers W., J. 2000. Odor control for livestock systems. J. Anim. Sci. 77:169-175.
- Prigge E. C., y W. Bryan B. 1991. Recycling and potential problems of excreta from beef cattle on pasture in the east. In: National Livestock Poultry and Aquaculture Waste

- Management. Proc. of the National Workshop. Am. Soc. of Ag. Engineers. Eds. Blake, J., J. Donald and W. Magette. Virginia University, USA. Pp 258-262.
- Quintero R. L., R. Ferrera- Cerrato., J. D. Etchevers B., N. E. García C., R. Rodríguez K., G. Alcántar G. y A. Aguilar S. 2003. Enzimas que participan en el proceso de vermicompostaje. *Terra*. 21:73-80.
- Reinecke A. J., S. Viljoen A., y R. Saayaman J. 1992. The suitability of *Eudrilus euganiae*, *Perionyx excavatus* and *Eisenia fetida* (Oligochaeta) for vermicomposting in southern Africa in terms of their temperature requirements. *Soil Biol. Biochem.* 24:1295-1307.
- Romero-Lima M. D. R., A. Trinidad-Santos, R. García-Espinosa y R. Ferrera-Cerrato 2000. Producción de papa y biomasa microbiana en suelo con abonos orgánicos y minerales. *Agrociencia*. 34:261-269.
- Santamaría-Romero S., R. Ferrera-Cerrato., J. J. Almaraz S., A. Galvis S. y I. Barrios. B. 2001. Dinámica y relaciones de microorganismos, C-orgánico y N-total durante el composteo y vermicomposteo. *Agrociencia*. 35:377-384.
- Smith J. J. 1991. Our responsibility in animal waste management In: : National Livestock Poultry and Aquaculture Waste Management Proc. of the National Workshop. Am. Soc. of Ag. Engineers. Eds. Blake, J., J. Donald and W. Magette. Agronomy and Product Development, USA. Pp 121-127.
- Whalen J. K., C. Chang G., W. Clayton, y J. Carefoot P. 2000. Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:962-966.
- Yang S., Y. 2001. Recent advances in composting. 216 pp. *In*: Proceedings of a seminar in commemorations of FFTC's 30th anniversary national Taiwan University (ed.) Issues in the management of agricultural resources. Taipei, Taiwan.
- Zhu J. 2000. A review of microbiology in swine manure odor control. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 78:93-106.

CAPÍTULO 3

Evaluación de estiércoles con o sin aditivo para la producción de abono orgánico. I. Mortalidad de lombriz roja californiana, contenido mineral e infestación con larva de mosca^{*}

Alejandro Alviter-Aguilar¹, José Guadalupe García-Muñoz^{2§}, Ma. Edna Álvarez-Sánchez³ y Rodolfo Ramírez Valverde²

^{*} Para ser sometido a la Revista Terra.

¹ Parte de la tesis de Maestría en Ciencias en Producción Animal del primer autor.

² Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carretera México-Texcoco, C.P. 56230, Chapingo, México.

³ Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carretera México-Texcoco, C. P. 56230, Chapingo, México.

[§] Autor a quien se le deberá enviar correspondencia. E-mail: jgarciam@taurus1.chapingo.mx

EVALUACIÓN DE ESTIÉRCOLES CON O SIN ADITIVO PARA LA PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO. I. MORTALIDAD DE LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA, CONTENIDO MINERAL E INFESTACIÓN CON LARVA DE MOSCA

EVALUATION OF SIX TYPES OF ANIMAL MANURE WITH OR WITHOUT ADDITIVE FOR ORGANIC FERTILIZER PRODUCTION. I. CALIFORNIAN RED EARTHWORM MORTALITY, MINERAL CONTENT AND FLY LARVAE INFESTATION

RESUMEN

El objetivo del estudio fue cuantificar la mortalidad de lombriz roja de California (*Eisenia foetida*), así como el contenido mineral, pH, temperatura, humedad, y el grado de infestación con larvas de mosca en seis tipos de estiércol de origen animal con o sin aditivo. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 6x2. Los estiércoles evaluados fueron de bovinos de engorda, bovinos lecheros, caprinos, ovinos, cerdos y conejos, y los procesos fueron con o sin aditivo. El contenido mineral se determinó al inicio del experimento, la temperatura y el pH se midieron diariamente, y la mortalidad de lombriz y el número de larvas de mosca se determinaron por conteo. El pH presentó diferencias ($P < 0.05$) en relación con el origen animal de los estiércoles. Los estiércoles sin aditivo tuvieron pH más bajo ($P < 0.05$) que los tratados con aditivo (7.9 vs 8.2). En los estiércoles sin aditivo, y en los de bovinos de engorda y cerdos con aditivo, la mortalidad de lombriz fue del 100%, mientras que en los de conejos, cabras, bovinos lecheros y ovinos con aditivo, las mortalidades fueron de 91, 76, 31 y 11%, respectivamente. El tipo de estiércol afectó ($P < 0.05$) el número de larvas de mosca. La aplicación de aditivo disminuyó en 60% la infestación de larvas de mosca. Los resultados muestran que hay diferencias en el contenido de nutrientes de los diferentes tipos de estiércol estudiados. En general, la aplicación de aditivo aumentó el pH, y disminuyó la mortalidad de lombriz y la infestación con larvas de mosca.

Palabras claves: *Eisenia foetida*, pH, minerales, larvas de mosca.

ABSTRACT

The objective of the study was to quantify earthworm (*Eisenia foetida*) mortality, mineral content, pH, temperature, moisture content, and the infestation level by fly larvae of six types of manure of animal origin with or without additive. A completely randomized design with factorial arrangement 6x2 was used. The evaluated manure came from beef cattle, dairy cattle, goats, sheep, pigs and rabbits, and the processes were with or without additive. The mineral content was determined at the beginning of the experiment, the temperature and pH were measured daily, and the earthworm mortality and the number of fly larvae was determined by count. The pH presented differences ($P < 0.05$) in relation with the animal origin of the manure. The manure without additive had lower pH ($P < 0.05$) than the manure with additive (7.9 vs 9.2). Manure without additive, and both in beef cattle and pigs manure with additive, the earthworm mortality was 100%, while for rabbits, goats, dairy cattle and sheep manure with additive, earthworm mortalities were 91, 76, 31 and 11%, respectively. The type of manure affected ($P < 0.05$) the number of fly larvae. The application of additive decreased fly larvae infestation by 60%. The results show differences in the mineral content of the different types of manure. In general, the application of additive increased pH, and decreased earthworm mortality and fly larvae infestation.

Key words: *Eisenia foetida*, pH, minerals, fly larvae.

INTRODUCCIÓN

La lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) se caracteriza por su gran capacidad para transformar desechos orgánicos, como vegetales, pajas y estiércoles (Martínez, 1998). Los cambios en la población y en la biomasa de las lombrices del género *Eisenia*, son afectados por las características físicoquímicas del sustrato usado para su alimentación (Santamaría y Ferrera-Cerrato, 2002). Kaplan *et al.* (1980) estimaron que la temperatura y pH óptimos para el desarrollo de *Eisenia foetida* fueron de 20 a 29°C y 7.0, respectivamente; señalando además que una alta concentración de sales (> 0.5%) provoca su muerte. Por otra parte, Kaplan *et al.* (1980) reportan que se requiere un contenido de nitrógeno menor a 0.9% en los sustratos que se utilizan para alimentar a la lombriz y de esta forma poder evitar la mortalidad.

Para favorecer el desarrollo de lombrices alimentadas con estiércoles de origen animal, se han aplicado varias técnicas para estabilizar estos sustratos previos a la siembra de lombrices. Entre las técnicas de estabilización de desechos está el precomposteo, y la adición de pajas, rastrojos, aserrín y polvos alcalinizantes. Uno de los polvos alcalinizantes que se pueden usar para disminuir el contenido de humedad de los estiércoles es la diatomita. La diatomita contiene componentes inorgánicos como alúmina y hierro, con propiedades alcalinizantes, es químicamente inerte y tiene gran capacidad de absorber y retener agua por su gran superficie de contacto (Misra y Roy, 2002; Oste *et al.*, 2002). Estos mismos autores mencionan que la diatomita tiene la particularidad de inmovilizar metales pesados (tóxicos) y nutrimentos no pesados como el nitrógeno y fósforo. Estos aditivos además de estabilizar las condiciones físicoquímicas del sustrato, permiten el control de los malos olores y una rápida utilización por parte de las lombrices (Powers, 1999).

En los sistemas de producción de lombriz en México existe poca información relacionada a la calidad nutritiva de los estiércoles de origen animal utilizados en la alimentación de las lombrices, así como el efecto que éstos pueden tener en el comportamiento de las mismas. El objetivo del estudio fue cuantificar la mortalidad de la lombriz roja californiana, comparar el contenido mineral, pH, temperatura y humedad; así como el grado de infestación con larvas de mosca en seis tipos de estiércol de origen animal con o sin aditivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación geográfica, diseño experimental y tratamientos

El experimento se realizó en el módulo de producción de leche orgánica en pastoreo, localizado en la Universidad Autónoma Chapingo, en Chapingo, México. El módulo está ubicado a una altitud de 2,250 m, con clima C (W1) (w) (b) (i')g, que corresponde a templado subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura media anual del sitio es de 15.5 °C y la precipitación promedio anual de 644 mm (García, 1988).

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 6 x 2. Las doce combinaciones de tratamientos estuvieron compuestas por seis tipos de estiércol (cerdo, conejo, caprino, ovino, bovino lechero y bovino de engorda) y dos procesos (con o sin aditivo). Los tratamientos con aditivo consistieron en una mezcla de cinco kg de estiércol fresco, dos kg de diatomita en polvo y 0.25 kg de paja de avena. Para la mezcla de aditivos y estiércol se utilizó una máquina mezcladora de harinas, rediseñada para una mejor eficiencia en el proceso de mezclado y activada por un motor eléctrico. Los tratamientos sin aditivo consistieron de 7.25 kg de cada uno de estiércoles evaluados. La mezcla se colocó en cajas de plástico de 50 x 20 x 40 cm y una vez listas se sembraron 500 lombrices adultas de la especie *Eisenia foetida*. Las cajas se mantuvieron a un 80% de humedad durante los 16 días que duró el experimento.

Procedencia de los estiércoles

Los diferentes tipos de estiércol fueron de animales que se encontraban en estabulación. Los bovinos lecheros fueron de la raza Holstein, los de engorda de las razas Cebú y cruza de Cebú con Suizo, los ovinos fueron Suffolk y las cabras de las razas Alpina y Saanen. Los cerdos fueron en su mayoría cruza de las razas York con Landrace y Hampshire, y los conejos de la raza Nueva Zelanda Blanco. La alimentación de los bovinos lecheros fue con base en ingredientes por separado, principalmente ensilado de maíz, alfalfa verde y concentrado comercial con 18% de proteína cruda y 5% de cenizas. La dieta de los ovinos y cabras fue con base en ensilado de maíz, alfalfa verde y concentrado comercial con 14% de proteína cruda y 8% de cenizas. La alimentación de los bovinos de engorda consistió en una ración mezclada completa, compuesta

por grano de maíz, sorgo, pasta de soya, paja de avena molida, pasta de girasol y mezcla mineral. La dieta de los cerdos fue con base en concentrado comercial con 19% de proteína cruda y 7% de cenizas. Finalmente, los conejos consumieron alimento concentrado comercial con 16% de proteína cruda y 9% de cenizas.

Variables evaluadas

Al inicio del experimento, se caracterizaron los estiércoles (con y sin aditivo). Se determinó el contenido de humedad secando las muestras en estufa a 70 °C hasta peso constante, posteriormente en las muestras húmedas se realizó el análisis de nitrógeno total con el método de microkjeldahl (Bremer, 1965). Las muestras secas se digestaron con una mezcla de ácido nítrico y perclórico (2:1) para determinar fósforo por el método del fosfovanamolibdato (Jackson, 1964); potasio por emisión y calcio, magnesio, hierro, cobre, zinc y manganeso, a través de espectrofotometría de absorción atómica. A las muestras secas también se les determinó el contenido de materia orgánica por el método de Walhley y Black (Jackson, 1964), carbono orgánico y cenizas por combustión en una mufla a 500 °C.

De cada unidad experimental se llevó un registro diario de temperatura del sustrato a 15 cm de profundidad y de pH (relación 2:1, v/v, de agua sustrato) durante el experimento. El experimento tuvo una duración de 16 días, de acuerdo al tiempo que propone Martinez (1998) como periodo adecuado para evaluar la sobrevivencia de la lombriz.

En el día 10 del experimento, en cada una de las unidades experimentales se tomaron muestras con un tubo de 5 cm³ de capacidad y se cuantificó el número de larvas de mosca en dicho volumen.

Análisis estadístico

Los registros de pH y temperatura (T) del sustrato por día del experimento, la mortalidad de lombriz (ML) y el número de larvas de mosca (NLM) en 5cm³ de sustrato, se sometieron a análisis de varianza utilizando el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS (SAS, 2001).

Para el análisis de T y pH, los datos se dividieron en cuatro periodos, donde el día uno del experimento correspondió al primer periodo y los intervalos del día 2 al 7, del 8 al 12 y del 13 al 16 a los periodos dos, tres y cuatro, respectivamente. Los modelos estadísticos finales fueron los siguientes:

$$\text{pH}, T_{ijkl} = \mu + E_i + P_j + R_k + E*P_{ij} + e_{ijkl}$$

$$\text{ML}, \text{NLM}_{ijk} = \mu + E_i + P_j + E*P_{ij} + e_{ijk}$$

Donde: μ es la media general; E_i es el efecto del i-ésimo tipo de estiércol (i = bovinos lechero, bovinos de engorda, cerdos, ovinos, caprinos, conejos); P_j es el efecto fijo del j-ésimo tipo de proceso (j = con aditivo, sin aditivo); R_k es el efecto del k-ésimo periodo (k = 1, 2, 3, 4); $E*P_{ij}$ es el efecto de la interacción tipo de estiércol por tipo de proceso, y e_{ijk} o e_{ijkl} son los correspondientes términos del error aleatorio NID ($0, \sigma_e^2$).

Para el análisis de las variables mortalidad de lombriz y número de larvas de mosca en 5 cm³ de sustrato, previo a los análisis estadísticos, se obtuvieron los histogramas respectivos y se efectuaron pruebas de normalidad utilizando el procedimiento UNIVARIATE de SAS (SAS, 2001). Las variables no se ajustaron a una distribución normal, por lo que se transformaron a la escala logarítmica. Terminado el análisis de varianza, las medias de cuadrados mínimos se retransformaron a la escala original.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización mineral de los estiércoles

En el Cuadro 10 se presentan los promedios del contenido mineral de los diferentes estiércoles evaluados con o sin aditivo. El estiércol de cerdo sin aditivo presentó el contenido de nitrógeno (3.5%) más alto, seguido por el de cabra, ovino y bovino. Otros autores también han reportado que el estiércol de cerdo tiene mayor contenido de nitrógeno (2.8%) que el de bovinos (1.4%) y aves (2.3%) (Yang, 2001; Rynk, 1998). Esta característica del estiércol de cerdo se debe al consumo de alimentos con alto contenido de proteína, misma que no es aprovechada totalmente por el animal monogástrico y se elimina en el estiércol. La dieta de los rumiantes (bovinos, ovinos y caprinos) se basa principalmente en forraje con bajo contenido de proteína cruda y poco alimento concentrado, lo que explicaría en parte la menor concentración de nitrógeno en el estiércol de estas especies respecto al de cerdo.

Cuadro 10. Contenido mineral en diferentes estiércoles de origen animal con o sin aditivo*

Tipo de proceso y estiércol	Mineral								
	N ¹	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
	%					mg kg ⁻¹			
Con aditivo									
Bovinos de engorda	1.0	0.2	1.8	0.9	1.2	11050	17	98	313
Bovinos lecheros	0.7	0.2	1.5	0.8	0.8	10888	14	85	295
Cabras	1.0	0.2	1.5	2.5	1.4	8990	39	180	368
Cerdos	1.5	0.3	0.8	2.6	1.5	4435	47	353	423
Conejos	0.9	0.2	0.4	1.4	0.6	3700	14	128	195
Ovinos	0.8	0.2	1.0	1.7	1.0	7580	17	113	315
Sin aditivo									
Bovinos de engorda	2.2	0.2	3.2	1.5	1.6	10763	30	173	343
Bovinos lecheros	2.3	0.3	2.5	1.6	1.4	8215	22	130	260
Cabras	2.8	0.3	3.3	3.2	2.1	2095	74	365	375
Cerdos	3.5	0.4	1.9	2.7	0.7	2215	135	858	695
Conejos	0.9	0.3	1.6	1.1	1.5	1395	91	488	440
Ovinos	2.7	1.0	4.5	2.8	0.5	1570	40	220	253
Aditivo									
Paja de avena	1.1	0.3	1.5	0.2	0.3	1223	131	15	33
Diatomita	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	3278	81	5	35

*Aditivo: paja de avena + diatomita.

¹Determinado utilizando estiércol fresco.

El bajo contenido de nitrógeno en el estiércol de conejo sin aditivo (0.9%) puede deberse al comportamiento de coprofagia de la especie. La coprofagia o consumo de heces blandas produce una digestión enzimática de las bacterias cecales y la absorción intestinal tanto de los aminoácidos procedentes de la proteína bacteriana como del alimento. La cantidad de heces blandas producidas e ingeridas por los conejos es de aproximadamente un tercio del total excretado y contienen un alto porcentaje de agua, nitrógeno, minerales, vitaminas, ácidos grasos volátiles, y un menor contenido de fibra comparado con las heces duras.

Al aplicar el aditivo, el contenido de nitrógeno de los diferentes tipos de estiércoles disminuyó (Cuadro 10). Evidentemente hubo un efecto de dilución de los minerales que se presentó en los diferentes estiércoles cuando se mezclaron con el aditivo. En un trabajo similar, Santamaría y Ferrera-Cerrato (2002) adicionaron paja de avena al estiércol de bovinos, observando también disminución en el contenido de nitrógeno.

Para los demás minerales estudiados, la aplicación del aditivo disminuyó ligeramente su contenido o se mantuvo similar, lo que puede deberse a que el aditivo tiene compuestos de sílice que pueden producir fijación de minerales a través del reemplazo de cationes. De esta manera, los elementos minerales pasan de una forma soluble o intercambiable a una menos soluble o no intercambiable (Oste *et al.*, 2002).

Porcentaje de humedad, cenizas, materia orgánica, carbono orgánico y relación C/N en estiércoles con o sin aditivo

Al aplicar el aditivo el porcentaje de humedad disminuyó en todos los tipos de estiércol (Cuadro 11). Este efecto se debe a que la diatomita tiene gran capacidad de absorción y retención de líquidos (Misra y Roy, 2002), y a que las pajas también tienen efecto absorbente.

En general, el contenido de cenizas fue mayor al aplicar el aditivo (Cuadro 11), lo que se explica por la adición de minerales procedentes de la diatomita en la mezcla. Una relación inversa a la anterior se observó en el contenido de materia orgánica y carbono orgánico, con más bajos valores para estiércoles sin aditivo.

Comparados con los estiércoles sin aditivo, los estiércoles con aditivo incrementaron su relación carbono-nitrógeno (C/N). El estiércol de conejo con aditivo no cambió su contenido de nitrógeno (Cuadro 10), por lo que su relación C/N fue la más alta, con 28 unidades (Cuadro 11). El estiércol de cerdo tuvo la relación C/N más baja, con 13 unidades, lo cual puede deberse a que este tipo de estiércol presentó el contenido de nitrógeno más alto cuando se le aplicó el aditivo.

El incremento en la relación C/N en los estiércoles con aditivo, se debe a que al mezclarlos con paja de avena se aumenta el contenido de carbono orgánico y el contenido de nitrógeno disminuye. Martinez (1998) encontró que los estiércoles de bovinos y ovinos tienen una relación C/N de 32 unidades, y para los estiércoles de cerdos y aves la relación es de 16 y 11, respectivamente. Por otra parte, Yang (2001) publica relaciones C/N de 20 a 23 unidades para estiércol de bovinos, para estiércol de cerdos de 10 a 14 unidades y para estiércol de aves de 9 a 10 unidades. La relación C/N que encontró Yang (2001) para estiércol de cerdos es similar a la relación C/N del estiércol de cerdos sin aditivo del presente estudio.

Cuadro 11. Porcentaje de humedad, cenizas, materia orgánica, carbono orgánico y relación carbono nitrógeno en diferentes tipos de estiércol de origen animal con o sin aditivo*

Tipo de estiércol	Humedad	Cenizas	Materia Orgánica	Carbono Orgánico ¹	C/N
	%				
Con aditivo					
Bovinos de engorda	49	63	37	22	21
Bovinos lecheros	49	70	30	17	26
Cabras	50	64	36	21	20
Cerdos	49	68	32	19	13
Conejos	50	57	43	25	28
Ovinos	42	70	30	17	22
Sin aditivo					
Bovinos de engorda	66	64	36	21	9
Bovinos lecheros	72	52	48	28	12
Cabras	75	26	74	43	16
Cerdos	73	34	66	38	11
Conejos	80	12	88	51	56
Ovinos	73	11	89	52	19
Aditivo					
Paja de avena	4	7	93	54	49
Diatomita	3	95	5	3	-

*Aditivo: paja de avena + diatomita.

¹Obtenido de la división de materia orgánica/1.72.

Comportamiento de la temperatura, pH, mortalidad de lombriz y número de larvas de mosca en estiércol con o sin aditivo

Temperatura. La temperatura del sustrato no se afectó ni por el tipo de estiércol ni por el proceso (Cuadro 12), sin embargo, ésta fue variable y sin patrón definido entre periodos de evaluación ($P < 0.05$), con el promedio más alto de temperatura para el primer periodo (26.7°C) y el más bajo para último (20.8°C). Lo anterior, sugiere que bajo las condiciones en que se desarrolló el experimento, la temperatura del sustrato no fue un factor que afectó el desarrollo de las lombrices.

pH. El tipo de estiércol afectó ($P < 0.05$) el pH (Cuadro 12). Los estiércoles de ovinos y bovinos lecheros presentaron los valores más altos con 8.7 y 8.5, respectivamente. El pH del estiércol de bovinos lecheros es similar a los valores publicados por otros autores (Eghball y Power, 1999; Yang, 2001; Santamaria y Ferrera-Cerrato, 2002). Los valores de pH más bajos fueron para los estiércoles de cerdo y conejo con 7.6 y 7.7, respectivamente. Yang (2001) reporta valores ligeramente menores de pH para estos tipos de estiércol (7.1 a 7.3). La aplicación del aditivo aumentó ($P < 0.05$) el pH (8.2 vs 7.9) de los estiércoles (Cuadro 12). El incremento en el pH puede deberse a que la diatomita está formada por compuestos alcalinizantes como el sodio (Na), óxido de calcio (CaO), óxido de potasio (K_2O) y algunos otros carbonatos (Misra y Roy, 2000; Oste *et al.*, 2002).

Mortalidad de la lombriz. El tipo de estiércol, el proceso y su interacción afectaron ($P < 0.05$) la mortalidad de la lombriz (Cuadro 12). En todos los tipos de estiércol que no recibieron el aditivo así como los estiércoles de bovinos de engorda y cerdos con aditivo, la mortalidad de lombrices fue del 100%.

Kaplan *et al.* (1980) concluyeron que el rango óptimo de pH para la sobrevivencia de las lombrices es entre 5.4 y 7.0. Los promedios de pH obtenidos en este estudio (7.6 a 8.7), explican en parte la alta mortalidad observada para todos los tratamientos. Adicionalmente, para el caso de todos los estiércoles sin aditivo, el contenido de nitrógeno fue superior a 0.9%, considerado como nivel crítico para la sobrevivencia de las lombrices (Kaplan *et al.*, 1980). Lo que sugiere que el alto contenido de nitratos, nitritos y nitrógeno amoniacal contribuyó a la muerte total de las lombrices, dado que los estiércoles no tuvieron maduración o estabilización previa al momento de inocular las lombrices (Kaplan *et al.*, 1980; Martinez, 1998; Yang, 2001).

Cuadro 12. Medias de cuadrados mínimos ($\pm$ EE) para temperatura, pH, mortalidad de lombriz y número de larvas de mosca en diferentes tipos de estiércol con o sin aditivo

Efecto	Temperatura ² (°C)	pH ²	Lombrices muertas (Número)	Número de larvas de mosca en 5cm ³
Tipo de Estiércol				
Bovinos de engorda	23.7 $\pm$ 0.69 ^a	8.1 $\pm$ 0.11 ^b	500 $\pm$ 0.79 ^a	3 $\pm$ 0.45 ^c
Bovinos lecheros	24.0 $\pm$ 0.69 ^a	8.5 $\pm$ 0.11 ^a	279 $\pm$ 0.79 ^{ab}	2 $\pm$ 0.45 ^c
Cabras	24.1 $\pm$ 0.69 ^a	8.1 $\pm$ 0.11 ^a	434 $\pm$ 0.79 ^a	3 $\pm$ 0.45 ^c
Cerdos	24.4 $\pm$ 0.69 ^a	7.6 $\pm$ 0.11 ^c	500 $\pm$ 0.79 ^a	42 $\pm$ 0.45 ^a
Conejos	23.9 $\pm$ 0.69 ^a	7.7 $\pm$ 0.11 ^c	476 $\pm$ 0.79 ^a	44 $\pm$ 0.45 ^a
Ovinos	24.1 $\pm$ 0.69 ^a	8.7 $\pm$ 0.11 ^a	168 $\pm$ 0.79 ^b	6 $\pm$ 0.45 ^b
Proceso				
Con aditivo	23.9 $\pm$ 0.40 ^a	8.2 $\pm$ 0.06 ^a	269 $\pm$ 0.66 ^b	5 $\pm$ 0.26 ^b
Sin aditivo	24.2 $\pm$ 0.40 ^a	7.9 $\pm$ 0.06 ^b	500 $\pm$ 0.66 ^a	12 $\pm$ 0.26 ^a
Periodo				
1	26.2 $\pm$ 0.56 ^a	8.1 $\pm$ 0.09 ^a		
2	23.6 $\pm$ 0.56 ^b	8.3 $\pm$ 0.09 ^a		
3	25.6 $\pm$ 0.56 ^a	8.0 $\pm$ 0.09 ^a		
4	20.8 $\pm$ 0.56 ^c	8.0 $\pm$ 0.09 ^a		
Interacción proceso ¹ *estiércol	NS	NS	*	NS
Con aditivo				
Bovinos de engorda			500 $\pm$ 0.94 ^a	
Bovinos lecheros			156 $\pm$ 0.94 ^b	
Cabras			378 $\pm$ 0.94 ^a	
Cerdos			500 $\pm$ 0.94 ^a	
Conejos			454 $\pm$ 0.94 ^a	
Ovinos			56 $\pm$ 0.94 ^c	
Sin aditivo				
Bovinos de engorda			500 $\pm$ 0.94 ^a	
Bovinos lecheros			500 $\pm$ 0.94 ^a	
Cabras			500 $\pm$ 0.94 ^a	
Cerdos			500 $\pm$ 0.94 ^a	
Conejos			500 $\pm$ 0.94 ^a	
Ovinos			500 $\pm$ 0.94 ^a	

^{a,b,c} Dentro de columna y efecto, medias con diferente literal son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$).

¹NS = No significativo; * = $P < 0.05$.

² Datos agrupados en 4 periodos.

La aplicación de aditivo fue un factor determinante en la sobrevivencia de la lombriz. En promedio el aditivo redujo significativamente la mortalidad de lombrices en 46%, sin embargo, este efecto dependió del tipo de estiércol. Las menores poblaciones de lombrices muertas se observaron en el estiércol de ovinos (56 lombrices), seguido por el de bovinos lechero (156 lombrices). Por lo anterior, la aplicación de aditivo puede permitir la siembra de lombrices en estiércol de ovino y bovino lechero sin previo proceso de precomposteo.

Sin embargo, para los demás tipos de estiércol es importante realizar estudios para determinar las cantidades adecuadas de aditivo que permitan mantener la calidad nutritiva de los sustratos y evitar la muerte de lombrices al momento de ser inoculadas en estiércoles sin previo composteo.

La temperatura del sustrato en los diferentes periodos experimentales se considera que no tuvo efecto en la mortalidad de lombrices, ya que aunque fue variable, se encuentra dentro del rango óptimo de temperatura para el desarrollo de las lombrices (Kaplan *et al.*, 1980). La menor mortalidad de lombrices en los estiércoles con aditivo de ovinos y bovinos lecheros, puede deberse a que el aditivo disminuye sus contenidos de nitrógeno a menos de 0.8%.

El tipo de estiércol afectó ($P < 0.05$) el número de larvas de mosca encontradas en 5 cm³ de sustrato (Cuadro 12). Los estiércoles de conejo y cerdo fueron los que presentaron mayor infestación (44.5 y 41.8 larvas por 5 cm³ de sustrato, respectivamente). El número de larvas de mosca más alto en estiércol de conejos puede deberse a su alto contenido de humedad, mientras que para el de cerdos a sus contenidos altos de nitrógeno y humedad. Las infestaciones más bajas con larvas de mosca se presentaron en los estiércoles de bovinos lecheros, bovinos de engorda, cabras y ovinos en el rango de 2 a 6 larvas en 5cm³ de sustrato, que el estiércol de cerdo y conejo, probablemente estuvieron asociadas a condiciones no adecuadas para su desarrollo (Eicher *et al.*, 2001; Barnard *et al.*, 1998). Barnard y Harms (1992) indican que las larvas se desarrollan adecuadamente en estiércol con 60 a 78% de humedad, 6.5 a 8.0 de pH, 1.3% de nitrógeno, 2.0% de calcio, 0.5% de fósforo y 0.5% de potasio.

La aplicación de aditivo a los diferentes tipos de estiércol tuvo un efecto importante ($P < 0.05$) en la reducción en el número de larvas de mosca. Los estiércoles que no se les aplicó aditivo presentaron mayor número de larvas de mosca (12.1 en 5 cm³ de sustrato) que los que se mezclaron con el aditivo (4.8 en 5 cm³ de sustrato). La menor presencia de larvas en los estiércoles con aditivo, puede deberse a su menor contenido de nitrógeno (0.9%) y porcentaje de humedad (49%), así como un incremento en su pH.

CONCLUSIONES

La aplicación del aditivo a los estiércoles frescos redujo la mortalidad de las lombrices en forma significativa. Esta reducción fue de 70% el de bovinos lecheros y de 89% en el de ovinos. En los estiércoles frescos sin aditivo la mortalidad de las lombrices fue del 100%.

Los estiércoles difieren en su contenido de minerales de acuerdo al tipo de animal del que provengan, pero, en general, el estiércol de cerdo presento el contenido más alto de nitrógeno.

La aplicación de aditivo a los estiércoles frescos redujo el contenido de nitrógeno y humedad e incrementó el porcentaje de cenizas y el pH, en el momento de la mezcla.

La adición de aditivo redujo significativamente el número de larvas de mosca, efecto que dependió del tipo de estiércol. La reducción en el número de larvas fue en el siguiente orden: bovinos lecheros menor que ovinos, cerdos y conejos e igual para bovinos de engorda y cabras.

LITERATURA CITADA

- Barnard D. R., y H. Harms R. 1992. Growth and survival of house fly in response to selected physical and chemical properties of poultry manure. J. Econom. Entomol. 85:1213-1217.
- Barnard D. R., H. Harms R., y D. Sloan R. 1998. Biodegradation of poultry manure by house fly (Diptera: *Muscidae*). Environ. Entomol. 27:600-605.
- Bremner J. M. 1965. Total nitrogen. Pp 1149-1178. In: C. A. Black (Ed.), methods of soil analysis. Part 2. Agronomy 9. American Society of Agronomy. Madison. Wisconsin.
- Eghball B., y J. Power F. 1999. Composted and noncomposted manure application to conventional and no-tillage systems: corn yield and nitrogen uptake. Agron. J. 91:819-825.
- Eicher S. D., J. L. Morrow-Tesch, J. Albright L., y R. Williams E. 2001. Tail-docking alters fly numbers, fly-avoidance behaviors and cleanliness, but not physiological measures. J. Dairy Sci. 84:1822-1828.
- García M. E. 1988. modificaciones al sistema de clasificación climáticas de Koppen para adaptarlo a las condiciones particulares de la República Mexicana. Edit. Talleres FOCET Larios. México, D. F. P 277.
- Jackson M. L. 1964. Análisis químico de suelos. Traducción al español de J. Beltrán. Edit. Omega. Barcelona, Esp.
- Kaplan L. D., R. Hartenstein, F. Edward N., y M. Malecki R. 1980. Physicochemical requirements in the environment of the earthworm *Eisenia foetida*. Soil Biol. Biochem. 12:347-352.

- Martinez A. A. 1998. A grande e poderosa minhoca: manual prático do minhocultor. 4a. edicao. Editorial ABDR. Sao Pablo, Brasil.
- Misra R. V., y R. Roy N. 2002. On-farm composting methods. Natural Resource, Agriculture and Engineering Service, Cooperative Extension, Ithaka, New. York. USA. 150 p.
- Oste L. L., T. Lexmond M., y H. Willem V. 2002. Metal immobilization in soils using synthetic zeolites. J. Environ. Qual. 31:813-821.
- Powers W. J. 1999. Odor control for livestock systems. J. Anim. Sci. 82: 169-175.
- Rynk R. 1998. BioCycle's odor management training workshop in Seattle. Edit. Agricultural Engineering Department at the University of Idaho. USA. 120 p.
- Santamaria R. S. y R. Ferrera-Cerrato. 2002. Dinámica poblacional de *Eisenia andrei* (Bouché 1972) en diferentes residuos orgánicos. Terra 20:303-310.
- SAS. 2001. SAS/STAT User's guide. (Release 8.2) Cary (NC), USA: SAS Institute Inc.
- Yang S. Y. 2001. Recent advances in composting. 216 pp. *In*: Proceedings of a seminar in commemorations of FFTC's 30th anniversary national Taiwan University (ed.) Issues in the management of agricultural resources. Taipei, Taiwan.

CAPÍTULO 4

Evaluación de estiércoles con o sin aditivo para la producción de abono orgánico. II. Contenido mineral de la vermicomposta y comportamiento de la temperatura y pH durante el proceso de precomposteo*

Alejandro Alviter-Aguilar¹, J. Guadalupe García-Muñoz^{2§}, Ma. Edna Álvarez-Sánchez³
y Rodolfo Ramírez Valverde²

* Para ser sometido a la Revista Terra.

¹ Parte de la tesis de Maestría en Ciencias en Producción Animal del primer autor.

² Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carretera México-Texcoco, C.P. 56230, Chapingo, México.

³ Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carretera México-Texcoco, C. P. 56230, Chapingo, México.

[§] Autor a quien se le deberá enviar correspondencia. E-mail: jgarciam@taurus1.chapingo.mx

EVALUACIÓN DE ESTIÉRCOLES CON O SIN ADITIVO PARA LA PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO. II. CONTENIDO MINERAL DE LA VERMICOMPOSTA Y COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA Y pH DURANTE EL PROCESO DE PRECOMPOSTEO

EVALUATION OF SIX TYPES OF ANIMAL MANURE WITH OR WITHOUT ADDITIVE FOR ORGANIC FERTILIZER PRODUCTION. II. MINERAL CONTENT OF VERMICOMPOST AND PERFORMANCE OF TEMPERATURE AND pH DURING THE PRECOMPOSTING PROCESS

RESUMEN

El objetivo del estudio fue comparar el contenido mineral de la vermicomposta de lombriz roja californiana, pH y temperatura durante el proceso de precomposteo de estiércoles de origen animal con o sin aditivo. Los estiércoles evaluados fueron de bovinos de engorda, bovinos lecheros, caprinos, ovinos, cerdos y conejos, y los procesos fueron con o sin aditivo. El aditivo consistió en una mezcla de paja de avena y diatomita. El contenido mineral en cada uno de los estiércoles se determinó al final del experimento y la temperatura y el pH se midieron diariamente durante el proceso de precomposteo. Se presentaron diferencias ($P < 0.05$) en el contenido de fósforo, potasio, calcio, magnesio y manganeso debidas al tipo de estiércol. La vermicomposta de estiércol sin aditivo presentó mayor ($P < 0.05$) contenido de nitrógeno, potasio y magnesio que la de estiércol con aditivo. Al final de la fase de precomposteo, los estiércoles de bovinos lecheros y de engorda con o sin aditivo presentaron un pH más alto que el de los otros estiércoles. Durante la fase de precomposteo, los estiércoles sin aditivo de bovinos de engorda, bovinos lecheros, caprinos, cerdos y ovinos generaron temperaturas mayores que los mismos estiércoles con aditivo (45 vs 36°C ; $P < 0.05$). Durante el proceso de vermicomposteo se presentan pérdidas de nitrógeno y potasio, y se incrementan los contenidos de fósforo, calcio, magnesio, hierro, cobre, zinc y manganeso. La aplicación de aditivo al estiércol reduce de manera significativa la temperatura del sustrato durante la fase de precomposteo. Los estiércoles de animales no rumiantes presentan temperaturas más altas que los de animales rumiantes.

Palabras claves: *Eisenia foetida*, estiércol, vermicomposta.

ABSTRACT

The objective of the study was to compare the mineral content of vermicompost from californian red earthworm (*Eisenia foetida*), pH and temperature in the precomposting phase of six types of manure of animal origin with or without additive. The evaluated manure were from dairy cattle, beef cattle, goats, sheep, pigs and rabbits; and the processes were with or without additive. The additive consisted of a mixture of oat straw and diatomaceous earth. The vermicompost's mineral content out of each manure type was determined at the end of the experiment, and pH and temperature were recorded daily. Vermicompost's mineral content from each manure type differed ($P < 0.05$) for phosphorus, potassium, calcium, magnesium and manganese. The vermicompost of manure without additive had higher ($P < 0.05$) contents of potassium and magnesium than that of manure with additive. The precomposted manure of dairy and beef cattle with or without additive had a higher ($P < 0.05$) pH than the other precomposted manure types. Manure without additive of dairy and beef cattle, goats, pigs and sheep had higher ($P < 0.05$) temperatures (45°C) than their counterparts with additive (36°C). During the vermicomposting phase, there were nitrogen and potassium losses, and the contents of phosphorus, calcium, magnesium, iron, copper, zinc and manganese increased. The application of additive to manure significantly reduced stack temperature during the precomposting phase. Manure of ruminants recorded lower temperatures than that of non-ruminant animals.

Key words: *Eisenia foetida*, manure, vermicompost.

INTRODUCCIÓN

La composición mineral de los estiércoles depende de la especie y edad del animal, condiciones de estabulación y crianza, condiciones de almacenamiento del estiércol y condiciones climáticas (Eghball, 2000).

Los estiércoles cuando se utilizan para alimentar a las lombrices, deben procesarse a través de composteo o precomposteo. Si el estiércol se proporciona en fresco o sin precompostear provocan la muerte de las lombrices debido al alto contenido de algunos minerales como el nitrógeno. Por otra parte, los estiércoles frescos al iniciar su proceso de fermentación generan temperaturas superiores a los 40°C (Yang, 2001; Martinez (1998) lo que también es una causa más de la muerte de las lombrices. El precomposteo de materiales orgánicos se lleva a cabo en un periodo de 30 días en promedio, tiempo en el cual la temperatura y pH del sustrato se estabilizan (Yang, 2001). Posterior a este proceso, el sustrato se puede proporcionar a las lombrices sin provocar su muerte (Martinez, 1998).

El proceso de composteo y vermicomposteo producen fertilizantes orgánicos con alto contenido mineral que favorecen el desarrollo de las plantas (Santamaría-Romero *et al.*, 2001). El composteo de estiércol produce un sustrato estable que puede almacenarse con ventajas adicionales como la disminución de mal olor y la presencia de moscas. Otras de las ventajas del composteo y vermicomposteo es la eliminación de microorganismos patógenos, semillas de malezas, y la reducción de volumen y peso, lo que favorece su manejo (Eghball y Power, 1999; Eghball, 2000; Eghball, 2002). Sin embargo, el composteo de estiércol presenta desventajas como son la pérdida de nitrógeno y carbono durante el proceso, el costo de la tierra donde se instalan las camas, requerimiento de equipo y mano de obra para su realización, y la presencia de mal olor producido durante su estabilización (Eghball y Power, 1999; Eghball, 2000).

Las pérdidas de nutrientes del estiércol durante el proceso de composteo pueden ser considerables. Eghball (2000) encontró que de 20 a 40% del nitrógeno, 46 a 62% del carbono y más de 6.5% del potasio y sodio del estiércol de bovino de engorda se pierde durante el proceso de composteo.

La incorporación de paja, aserrín y algunos polvos absorbentes y alcalinizantes ha permitido acelerar el proceso de precomposteo. Sin embargo, en la actualidad aún se presentan pérdidas de nutrientes durante el proceso y éste sigue siendo de un periodo largo. Resultados

previos obtenidos en el Capítulo 3 de esta investigación, indican que el uso de la diatomita como aditivo puede utilizarse para reducir el periodo de precomposteo de los estiércoles. El uso de este aditivo permite proporcionar como sustrato alimenticio de las lombrices estiércol fresco sin afectar de manera importante su sobrevivencia. La diatomita por su capacidad de absorción reduce el contenido de humedad en el estiércol, permitiendo que el precomposteo se lleve a cabo en un periodo más corto de tiempo sin afectar el contenido mineral del sustrato. El objetivo del presente estudio fue evaluar el contenido mineral en la vermicomposta de diferentes tipos de estiércol con o sin aditivo, así como el comportamiento de la temperatura y el pH durante el proceso de precomposteo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación geográfica, diseño experimental y tratamientos

El experimento se realizó en el módulo de producción de leche orgánica en pastoreo, localizado en la “granja experimental” de la Universidad Autónoma Chapingo, en Chapingo, México. El módulo está ubicado a una altitud de 2,250 m, con clima C (W1) (w) (b) (i')g, que corresponde a templado subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura media anual del sitio es de 15.5 °C y la precipitación promedio anual de 644 mm (García, 1988).

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 6 x 2. Las doce combinaciones de tratamientos estuvieron compuestas por seis tipos de estiércol (cerdo, conejo, caprino, ovino, bovino lechero y bovino de engorda) y dos procesos (con y sin aditivo). Los tratamientos con aditivo consistieron en una mezcla de 100 kg de estiércol fresco, 16 kg de diatomita en polvo y 2.0 kg de paja de avena molida. Para la mezcla de aditivos y estiércol se utilizó una mezcladora eléctrica de harinas, rediseñada para una mejor eficiencia en el proceso de mezclado. Los tratamientos sin aditivo consistieron de 118 kg de cada uno de los estiércoles evaluados. Los diferentes tipos de estiércol procedían de animales que se encontraban en estabulación y las características de cada uno de ellos, se describen a detalle en el Capítulo 3, de esta tesis. Los estiércoles con y sin aditivo se colocaron en cuadros de 2 m de largo por 2 m de ancho y 0.2 m de alto.

Variables evaluadas

Al inicio del experimento, se caracterizaron los estiércoles (con o sin aditivo). Los métodos de análisis para esta caracterización fueron los mismos que se utilizaron en el primer experimento y que se describen en el Capítulo 3.

El presente experimento se estableció en dos etapas, la primera fue evaluar el proceso de precomposteo, por lo que, de cada unidad experimental se llevó un registro diario de temperatura del sustrato a 40 cm de profundidad y del pH (relación 2:1, v/v, de agua sustrato). Esta fase tuvo una duración de 30 días, de acuerdo al tiempo que reporta Yang (2001) como periodo adecuado para que el proceso de composteo se estabilice. Al concluir el precomposteo se inició la segunda

etapa, la cual consistió en colocar en cajas de madera de 40 x 50 x 15 cm una cantidad de 10 kg de sustrato de cada una de las unidades experimentales y posteriormente se inoculó con lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) a una densidad alta que permitió consumir la cantidad de sustrato en un periodo de siete días.

Al final del proceso de vermicomposteo se tomó un kilogramo de sustrato en cada una de las unidades experimentales y se almacenaron a 4 °C hasta el momento de realizar el análisis. Para el análisis químico de estas muestras se aplicaron las mismas técnicas que para la caracterización de los estiércoles frescos descritas en el Capítulo 3 de esta tesis.

Análisis estadístico

La información del contenido mineral de la vermicomposta, pH y temperatura del sustrato se sometieron a análisis de varianza utilizando el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS (SAS, 2001).

Para el análisis de temperatura y pH, el periodo experimental se dividió en 5 subperiodos, donde el día uno del experimento correspondió al primer periodo y los intervalos del 2 al 8, del 9 al 15, del 16 al día 23 y del 24 al 30 correspondieron al periodo dos, tres, cuatro y cinco, respectivamente. Los modelos estadísticos finales, después de eliminar los efectos no significativos ($P > 0.05$), fueron los siguientes:

$$\text{Contenido mineral, pH}_{ijk} = \mu + E_i + P_j + E*P_{ij} + e_{ijk}$$

$$\text{Temperatura}_{ijkl} = \mu + E_i + P_j + R_k + E*P_{ij} + P*R_{jk} + e_{ijkl}$$

Donde: μ es la media general; E_i es el efecto del i -ésimo tipo de estiércol (i = bovino lechero, bovino de engorda, cerdo, ovino, caprino, conejo); P_j es el efecto fijo del j -ésimo tipo de proceso (j = con aditivo, sin aditivo); R_k es el efecto fijo del k -ésimo periodo (k = 1, 2, 3, 4, 5); $E*P_{ij}$ es el efecto fijo de la interacción tipo estiércol x tipo de proceso; $P*R_{jk}$ es el efecto fijo de la interacción tipo de proceso x periodo, y e_{ijk} o e_{ijkl} son los correspondientes términos del error aleatorio $NID(0, \sigma_e^2)$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización mineral de estiércoles con o sin aditivo

En el Cuadro 13 se muestra el contenido mineral de los diferentes tipos de estiércol con o sin aditivo previos al proceso de precomposteo. Los contenidos minerales variaron sustancialmente de acuerdo con el tipo de estiércol y al procesamiento que se les aplicó. En general, los contenidos mayores y menores de minerales fueron para estiércol de cerdo y bovinos de engorda, respectivamente.

Cuadro 13. Caracterización mineral en diferentes estiércoles de origen animal con o sin aditivo*

Tipo de estiércol y aditivo	Mineral								
	N ¹	P	K %	Ca	Mg	Fe	Cu mg kg ⁻¹	Zn	Mn
Con aditivo									
Bovinos engorda	2.0	0.4	2.0	0.5	0.8	6331	16	77	200
Bovinos lecheros	1.9	0.7	1.5	1.0	0.8	6448	27	96	230
Cabra	1.4	0.7	1.8	1.3	0.9	6188	38	163	285
Cerdo	2.8	0.6	1.2	2.4	1.0	4148	106	853	550
Conejo	1.4	0.9	2.7	1.6	1.0	5296	70	344	400
Ovino	2.0	0.7	1.6	0.9	0.7	5168	31	165	248
Sin aditivo									
Bovinos de engorda	2.2	0.4	1.4	0.4	0.6	3623	16	91	160
Bovinos lecheros	2.0	0.6	1.9	1.0	0.8	4286	29	114	203
Cabra	1.4	0.6	2.2	0.5	0.8	4613	34	175	248
Cerdo	6.0	1.1	1.5	2.9	1.7	3428	166	1258	845
Conejo	2.9	0.8	3.4	2.7	1.1	3551	67	350	335
Ovino	2.2	0.6	1.3	1.0	0.3	4996	37	175	260
Aditivo									
Paja de avena	1.1	0.3	1.5	0.2	0.3	1223	131	15	33
Diatomita	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	3278	81	5	35

*Aditivo: paja de avena + diatomita.

¹Determinado utilizando estiércol fresco.

Porcentaje de humedad, cenizas, materia orgánica, carbono orgánico y relación C/N en diferentes tipos de estiércol de origen animal con o sin aditivo

En general, para todos los tipos de estiércol, al aplicar el aditivo disminuyó el contenido de humedad, materia orgánica y carbono orgánico, pero aumentó el contenido de cenizas. La relación C/N se incrementó un poco con el aditivo, pero todos los valores fueron menor a la relación C/N crítica para que se lleve a cabo un buen proceso de maduración de los estiércoles (Cuadro 14).

Cuadro 14. Porcentaje de humedad, ceniza, materia orgánica, carbono orgánico y relación carbono nitrógeno en diferentes tipos de estiércol de origen animal con o sin aditivo*

Tipo de estiércol	Humedad	Cenizas	Materia Orgánica	Carbono Orgánico	C/N
	%				
Con aditivo					
Bovinos de engorda	12	28	72	42	21
Bovinos lecheros	22	48	52	30	16
Cabra	12	41	59	34	24
Cerdo	42	42	58	34	12
Conejo	14	68	32	40	28
Ovino	9	40	60	35	17
Sin aditivo					
Bovinos de engorda	14	24	76	44	20
Bovinos lecheros	22	38	62	36	18
Cabra	18	36	64	37	26
Cerdo	55	25	75	44	7
Conejo	36	67	33	39	13
Ovino	13	38	62	36	16
Aditivo					
Paja de avena	4	7	93	54	49
Diatomita	3	95	5	3	-

*Aditivo: paja de avena + diatomita.

Contenido mineral de la vermicomposta de diferentes tipos de estiércol con o sin aditivo

El contenido de nitrógeno y potasio en la vermicomposta de estiércoles con o sin aditivo disminuyó en 67 y 36%, respectivamente, del contenido inicial en los estiércoles frescos con y sin aditivo. El contenido de fósforo, calcio y magnesio en la vermicomposta se incrementó entre el

14 a 36% del contenido original en los estiércoles frescos. Respecto a los contenidos de hierro, cobre, zinc y manganeso de la vermicomposta éstos aumentaron en el rango de 125 a 203%, respecto del contenido original (Cuadros 13 y 15).

La disminución de los contenidos de nitrógeno y potasio en la vermicomposta, coincide con lo que reporta Eghball (2000 y 2002), que las pérdidas de nitrógeno durante el proceso de composteo son del 20 al 40% del contenido original. Estas pérdidas de nitrógeno se atribuyen a pérdidas por volatilización, actividad de los microorganismos y por lixiviación, y la pérdida de potasio por los dos últimos procesos. Sin embargo, parte del nitrógeno del sustrato es utilizado por las lombrices para su crecimiento y metabolismo, por lo que es una causa más de pérdidas de este elemento. En otro estudio realizado por Romero-Lima *et al.* (2000) encontraron que las pérdidas de nitrógeno y potasio en gallinaza procesada por vermicomposteo fueron del 51 y 58% respectivamente, respecto al contenido original.

El incremento en el contenido de algunos minerales en la vermicomposta de estiércoles coincide con lo que citan Martínez (1996) y Martínez (1998), que la lombriz tiene la capacidad de aumentar el contenido mineral de uno a tres veces en sus excretas en función del contenido mineral original y del sustrato con que son alimentadas.

Los contenidos de nitrógeno y hierro en la vermicomposta de diferentes tipos de estiércol (Cuadro 15) no presentaron diferencias ($P > 0.05$). Sin embargo, hubieron diferencias ($P < 0.05$) en el contenido de fósforo, potasio, calcio, magnesio y manganeso. La vermicomposta de estiércol de cerdo presentó el contenido más alto de fósforo, calcio y magnesio (1.2, 2.8 y 1.7%, respectivamente) (Cuadro 15). El contenido de potasio y manganeso fue más alto para el estiércol de conejo (1.0% y 1248.7 mg kg⁻¹, respectivamente). En general, las diferencias en el contenido mineral en la vermicomposta de diferentes tipos de estiércol, puede deberse principalmente a factores como la especie y tamaño del animal, tipo de instalaciones de crianza, manejo de los animales, tipo de alimento y condiciones climáticas que determinan el contenido mineral en los estiércoles (Eghball, 2000). Por otra parte Martínez (1996) y Martínez (1998) reportan que lombrices que se alimentan con estiércoles que contienen altos contenidos de nutrientes, producen excretas con mayor contenido mineral que los contenidos originales del alimento, debido principalmente al proceso digestivo de la lombriz.

La aplicación de aditivo a los diferentes tipos de estiércol no provocó diferencias ($P > 0.05$) en los contenidos de fósforo, calcio y manganeso. Sin embargo, se presentaron diferencias ($P < 0.05$) en el contenido de nitrógeno, potasio y magnesio (Cuadro 15).

Cuadro 15. Medias de cuadrados mínimos ($\pm$ EE) para contenido mineral en la vermicomposta de diferentes tipos de estiércol con o sin aditivo

						Mineral			
Efecto	N ¹	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
	%					mg kg ⁻¹			
Tipo de estiércol									
Bovinos de engorda	1.6±0.11 ^a	0.6±0.08 ^c	0.5±0.07 ^b	0.6±0.14 ^d	0.9±0.09 ^c	9627.9±611.57 ^a	32.6±10.29 ^c	177.0±71.90 ^b	413.8±112.11 ^b
Bovinos lecheros	1.4±0.11 ^a	1.0±0.08 ^b	0.5±0.07 ^b	1.1±0.14 ^c	0.9±0.09 ^{bc}	9466.2±611.57 ^a	47.5±10.29 ^c	207.5±71.90 ^b	435.7±112.11 ^b
Caprinos	1.6±0.11 ^a	0.9±0.08 ^b	0.7±0.07 ^b	1.9±0.14 ^b	1.0±0.09 ^{bc}	7557.0±611.57 ^a	48.4±10.29 ^c	237.9±71.90 ^b	438.16±12.11 ^b
Cerdos	1.8±0.11 ^a	1.2±0.08 ^a	0.8±0.07 ^{ab}	2.8±0.14 ^a	1.7±0.09 ^a	7948.7±611.57 ^a	179.0±10.29 ^a	999.1±71.90 ^a	1063.0±112.11 ^a
Conejos	1.6±0.11 ^a	0.9±0.08 ^b	1.0±0.07 ^a	1.7±0.14 ^b	1.2±0.09 ^b	9739.5±611.57 ^a	86.4±10.29 ^b	417.9 ± 71.90 ^b	1248.7±112.11 ^a
Ovinos	1.4±0.11 ^a	0.9±0.08 ^b	0.6±0.07 ^b	1.1±0.14 ^c	0.7±0.09 ^c	8896.2±611.57 ^a	47.5±10.29 ^c	382.5±71.90 ^b	430.3±112.11 ^b
Proceso									
Con aditivo	1.4±0.06 ^b	0.9±0.04 ^a	0.5±0.04 ^b	1.5±0.08 ^a	1.0±0.05 ^b	9728.4±353.09 ^a	63.8±5.94 ^b	360.1±41.51 ^a	679.8±64.73 ^a
Sin aditivo	1.7±0.06 ^a	1.0±0.04 ^a	0.9±0.04 ^a	1.6±0.08 ^a	1.1±0.05 ^a	8016.8±353.09 ^b	83.3±5.94 ^a	447.2±41.51 ^a	663.5±64.73 ^a
Interacción estiércol * proceso ²	NS	NS	NS	NS	NS	*	*	*	NS
Con aditivo									
Bovinos de engorda						10095.8±733.78 ^a	34.2±11.74 ^c	261.6±84.08 ^b	
Bovinos lecheros						9041.6±733.78 ^a	32.9±11.74 ^c	26.6±84.08 ^b	
Caprinos						8163.0±733.78 ^a	45.8±11.74 ^c	227.5±84.08 ^b	
Cerdos						10150.8±733.78 ^a	136.9±11.74 ^b	815.0±84.08 ^{ab}	
Conejos						11409.1±733.78 ^a	85.3±11.74 ^b	400.0±84.08 ^b	
Ovinos						9510.0±733.78 ^a	47.6±11.74 ^c	430.0±84.08 ^b	
Sin aditivo									
Bovinos de engorda						9160.0±733.78 ^a	31.0±11.74 ^c	92.5±84.08 ^b	
Bovinos lecheros						9890.0±733.78 ^a	62.0±11.74 ^c	388.3±84.08 ^b	
Caprinos						6950.8±733.78 ^b	51.0±11.74 ^c	248.3±84.08 ^b	
Cerdos						5746.6±733.78 ^b	221.0±11.74 ^a	1183.3±84.08 ^a	
Conejos						8070.0±733.78 ^a	87.5±11.74 ^b	435.8±84.08 ^b	
Ovinos						8282.5±733.78 ^a	47.4±11.74 ^c	335.0±84.08 ^b	

^{a, b, c, d} Dentro de columna y efecto, medias con diferente literal son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$).

¹ Determinado utilizando material fresco.

² NS= No significativo; *= $P < 0.05$.

La vermicomposta de estiércol sin aditivo tuvo mayor contenido de nitrógeno, potasio y magnesio (1.8, 1.0 y 9.0%, respectivamente) que la de estiércol con aditivo. El menor contenido mineral en la vermicomposta de estiércoles con aditivo, puede deberse a que la diatomita tiene la capacidad de fijar minerales haciéndolos insolubles y a que probablemente la lombriz no pudo romper del todo esa fijación a través de su metabolismo digestivo (Oste *et al.*, 2002). Por otra parte, la aplicación de pajas a los estiércoles para composteo provoca principalmente disminución en el contenido de nitrógeno y potasio (Martinez, 1998; Eghball, 2002).

La interacción del tipo de estiércol por proceso no presentó diferencias ($P > 0.05$) para los contenidos de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y manganeso. Sin embargo, el contenido de hierro, cobre y zinc en la vermicomposta presentó diferencias ($P < 0.05$). La vermicomposta de los estiércoles con aditivo aumentó su contenido de hierro del 10 al 76%, excepto el de bovinos lecheros que disminuyó en 1% (Cuadro 15), lo que puede deberse a que la diatomita contiene grandes cantidades de hierro (Oste *et al.*, 2002). El contenido de cobre en la vermicomposta de estiércol con aditivo de bovinos lecheros, cabras, cerdos y conejos disminuyó del 2 al 47%. El contenido de zinc en la vermicomposta de los mismos tipos de estiércol disminuyó de 2 a 685%. Esta disminución en el contenido de cobre y zinc, puede deberse a que la diatomita tiene capacidad de fijar minerales, principalmente los considerados minerales pesados (Oste *et al.*, 2002).

Contenido de humedad, ceniza, materia orgánica, carbono orgánico y relación C/N en la vermicomposta de diferentes estiércoles con o sin aditivo

La aplicación de aditivo a los diferentes tipos de estiércol no provocó diferencias ($P > 0.05$) en los contenidos de cenizas, materia orgánica y carbono orgánico de la vermicomposta (Cuadro 16). Sin embargo, el porcentaje de humedad y la relación C/N en la vermicomposta fue afectada ($P < 0.05$) por la incorporación de aditivo a los estiércoles. El porcentaje de humedad de la vermicomposta de estiércoles con aditivo (59%) fue más alto que el de estiércoles sin aditivo (54%). La vermicomposta de estiércol con aditivo tuvo una relación C/N más alta (16) que la de estiércol sin aditivo (13). Los contenidos de humedad más altos para la vermicomposta de estiércoles con aditivo, pueden deberse a que la diatomita tiene la capacidad de retener grandes

cantidades de humedad (Misra y Roy, 2001; Oste *et al.*, 2002). Del mismo modo, las diferencias en la relación C/N por la aplicación de aditivos pudo deberse a la adición de paja de avena a los estiércoles, con lo cual se aumentó su contenido de carbono disminuyendo el contenido de nitrógeno (Yang, 2001; Santamaría y Ferrera-Cerrato, 2002).

Cuadro 16. Medias de cuadrados mínimos ($\pm$ EE) para contenido de humedad, cenizas, materia orgánica, carbono orgánico y relación C/N en la vermicomposta de diferentes estiércoles con o sin aditivo

Efecto	Humedad	Cenizas	Materia Orgánica	Carbono Orgánico	C/N
	%				
Tipo de estiércol					
Bovinos de engorda	53 $\pm$ 2.14 ^a	63 $\pm$ 2.19 ^a	37 $\pm$ 2.19 ^a	21 $\pm$ 1.27 ^a	13 $\pm$ 0.86 ^b
Bovinos lecheros	61 $\pm$ 2.14 ^a	55 $\pm$ 2.19 ^a	45 $\pm$ 2.19 ^a	26 $\pm$ 1.27 ^a	17 $\pm$ 0.86 ^a
Cabra	58 $\pm$ 2.14 ^a	61 $\pm$ 2.19 ^a	39 $\pm$ 2.19 ^a	22 $\pm$ 1.27 ^a	14 $\pm$ 0.86 ^a
Cerdo	55 $\pm$ 2.14 ^a	63 $\pm$ 2.19 ^a	37 $\pm$ 2.19 ^a	21 $\pm$ 1.27 ^a	13 $\pm$ 0.86 ^b
Conejo	55 $\pm$ 2.14 ^a	63 $\pm$ 2.19 ^a	37 $\pm$ 2.19 ^a	21 $\pm$ 1.27 ^a	13 $\pm$ 0.86 ^b
Ovino	60 $\pm$ 2.14 ^a	59 $\pm$ 2.19 ^a	41 $\pm$ 2.19 ^a	24 $\pm$ 1.27 ^a	17 $\pm$ 0.86 ^a
Proceso					
Con aditivo	59 $\pm$ 1.23 ^a	60 $\pm$ 1.26 ^a	40 $\pm$ 1.26 ^a	23 $\pm$ 0.73 ^a	16 $\pm$ 0.50 ^a
Sin aditivo	54 $\pm$ 1.23 ^b	61 $\pm$ 1.26 ^a	39 $\pm$ 1.26 ^a	22 $\pm$ 0.73 ^a	13 $\pm$ 0.50 ^b
Interacción estiércol * proceso ¹	NS	NS	NS	NS	NS

^{a, b} Dentro de columnas, medias con diferente literal son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$).

¹NS= No significativo.

La relación C/N en la vermicomposta de diferentes tipos de estiércol presentó diferencias significativas ($P < 0.05$). La vermicomposta de estiércol de bovinos lecheros y ovinos presentaron una relación C/N más alta, siendo de 17 para ambos (Cuadro 16). Esta relación C/N puede deberse a que estos tipos de vermicomposta presentaron también los contenidos más altos de carbono orgánico.

La interacción de estiércol por proceso no presentó diferencias ($P > 0.05$) para contenido de humedad, cenizas, materia orgánica, carbono orgánico y relación C/N en la vermicomposta de los diferentes tipos de estiércol (Cuadro 16). Por otra parte, estos mismos componentes, excepto la relación C/N no presentaron diferencias para los diferentes tipos de estiércol ($P > 0.05$).

La no diferencia encontrada para contenido de humedad en la vermicomposta de diferentes tipos de estiércol, puede deberse a que durante el proceso de vermicomposteo las aplicaciones de agua al sustrato fueron constantes (80%) para mantener una adecuada actividad de las lombrices. Al no modificarse los contenidos de cenizas en la vermicomposta de diferentes tipos de estiércol, la materia orgánica y carbono orgánico no presentan cambios significativos.

Comportamiento de la temperatura y pH durante el proceso de precomposteo de estiércoles con o sin aditivo

El pH de los estiércoles durante el precomposteo fue afectado ($P < 0.05$) por el tipo de estiércol, proceso, periodo y la interacción entre estiércol por proceso.

La tendencia del pH en los diferentes periodos fue una disminución mínima, donde el pH más alto (8.9) se obtuvo en el periodo uno y el más bajo (8.5) en el periodo cinco. Esta diferencia en pH durante los diferentes periodos puede deberse a la actividad de los microorganismos y pérdidas de nutrientes (Eghball, 2000; Yang, 2001).

En la interacción de estiércol por proceso, el aditivo provocó que los estiércoles precomposteados de bovinos de engorda y lecheros presentaran un pH mayor (9.0 y 9.1, respectivamente), que los que no se les aplicó el aditivo (8.9 y 9.0, respectivamente) (Figura 1). En estiércoles precomposteados de cabras, cerdos, conejos y ovinos la relación del pH con el proceso se invirtió, y los valores más altos fueron para los estiércoles sin aditivo.

Las diferencias en pH de los estiércoles de bovinos de engorda y lechero con aditivo precomposteados pueden deberse al tipo de alimento que consumen estos animales, ya que generalmente a éstos se les proporcionan suplementos minerales, los cuales no necesariamente son suministrados a los otros tipos de animales.

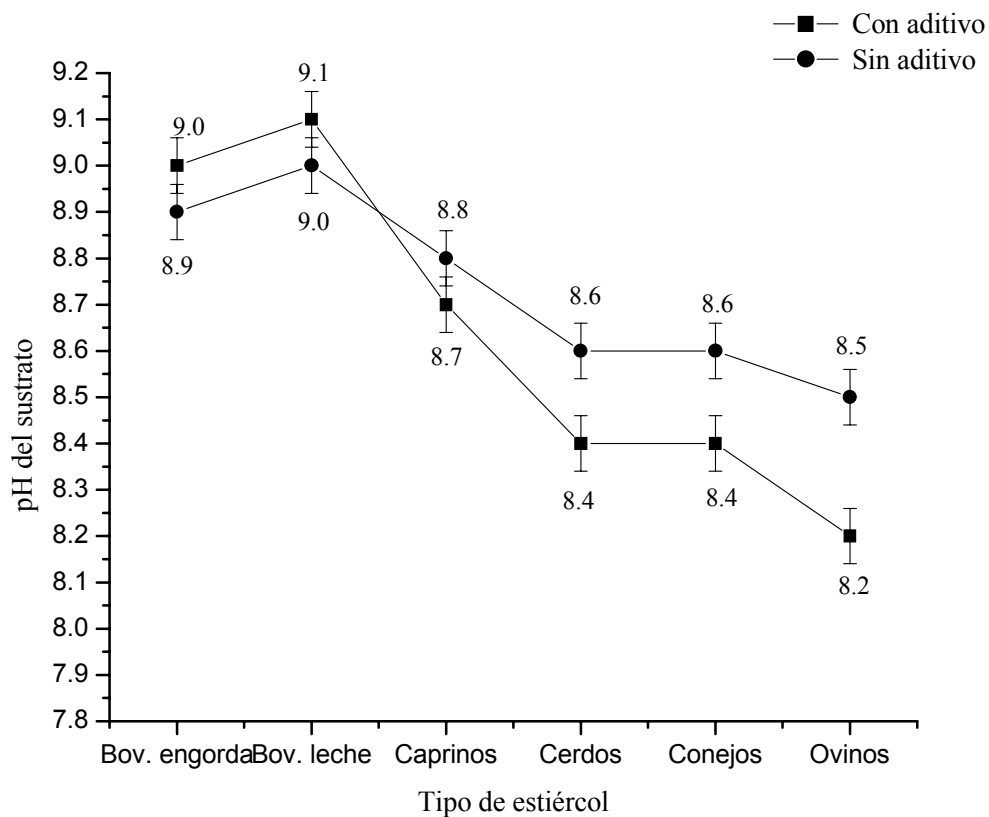


Figura 1. Medias de cuadrados mínimos ($\pm$ EE) para el efecto de la interacción de tipo de estiércol por proceso para la variable pH del sustrato.

La temperatura de los diferentes tipos de estiércol durante el precomposteo estuvo afectada ($P < 0.05$) por el tipo de estiércol, el proceso y el periodo, así como por la interacción de estiércol por proceso, periodo por proceso y estiércol por periodo.

En la interacción de estiércol por proceso sobre la temperatura, los estiércoles sin aditivo de bovinos de engorda, bovinos lecheros, caprinos, cerdos y ovinos tuvieron temperaturas mayores (45°C) que los estiércoles con aditivo (36°C). Sin embargo, el estiércol de conejo con o sin aditivo tuvo la misma temperatura durante el proceso de precomposteo (Figura 2).

Los microorganismos liberan energía durante la degradación de la materia orgánica en el proceso de composteo, provocando que la temperatura del sustrato se incremente (Yang, 2001). Sin embargo, para que la actividad de estos microorganismos se realice de manera favorable, se requieren contenidos de humedad en el rango de 60 a 80%. Por lo que la baja temperatura de los estiércoles con aditivo, puede deberse a que al aplicar la diatomita el contenido de humedad disminuyó afectando la actividad de los microorganismos (Yang, 2001; Misra y Roy, 2002; Oste *et al.*, 2002).

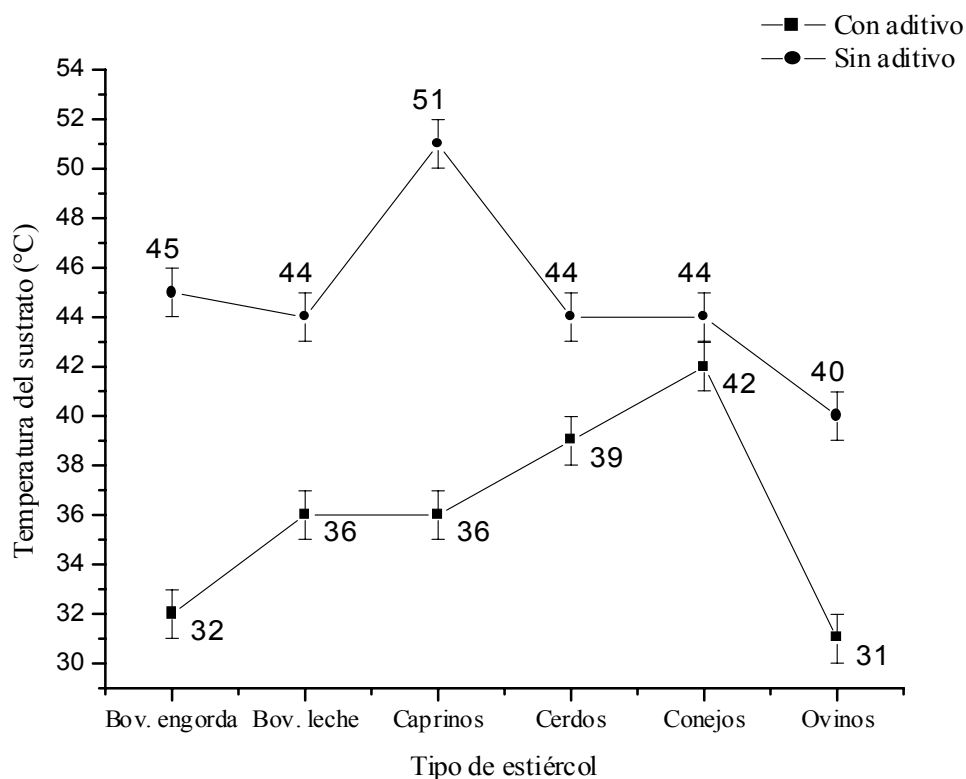


Figura 2. Medias de cuadrados mínimos ($\pm$ EE) para el efecto de la interacción del tipo de estiércol por proceso para la variable temperatura del sustrato.

En la interacción de periodo por tipo de proceso, los estiércoles sin aditivo alcanzaron la máxima temperatura (59°C) en el segundo periodo para posteriormente disminuir y presentar la temperatura mínima (34°C) en el último periodo (Figura 3). Yang (2001) reporta que las compostas alcanzan temperaturas máximas, en el rango de 45 a 60°C, durante la primera semana

y comienza a disminuir a partir de la tercera y cuarta semana, para establecerse al final del proceso en los 30°C en promedio. El estiércol con aditivo tuvo un patrón no definido, con temperaturas máximas en los periodos uno y dos (41°C) y temperatura mínima en el periodo tres (29°C). Este comportamiento de los estiércoles con aditivo en los diferentes periodos, puede deberse a la disminución en el contenido de humedad por efecto del aditivo, lo que provoca una disminución en la actividad de los microorganismos que participan en el precomposteo (Yang, 2001; Oste et al., 2002).

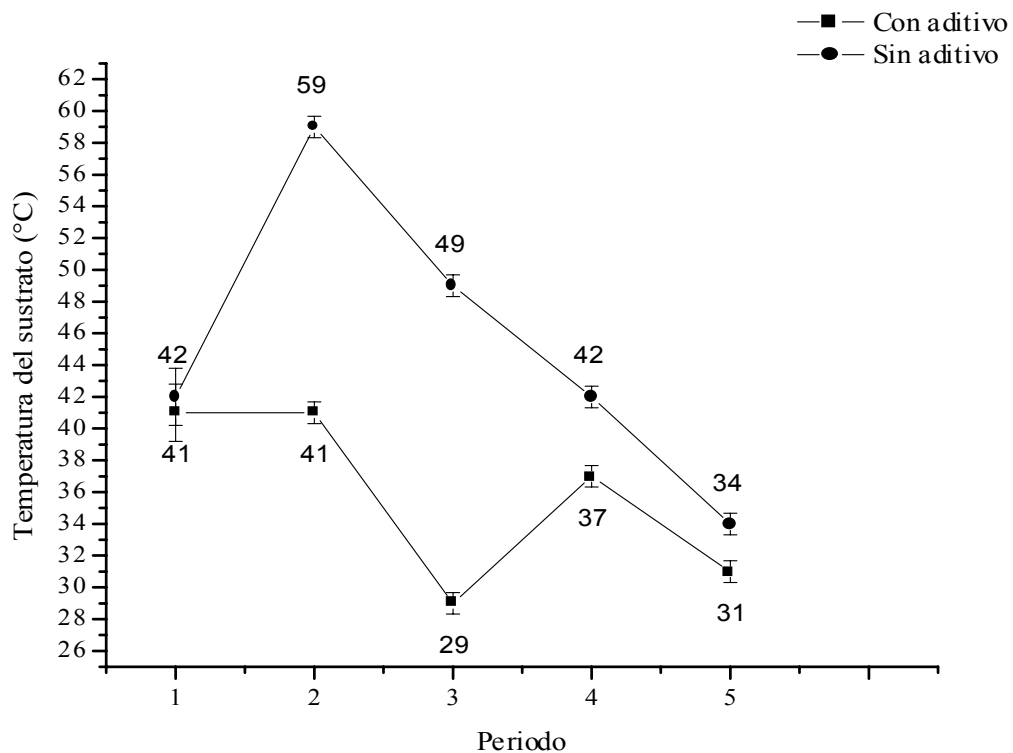


Figura 3. Medias de cuadrados mínimos ($\pm$ EE) para el efecto de la interacción de periodo por tipo de proceso para la variable temperatura del sustrato.

En la interacción de tipo de estiércol por periodo sobre la variable temperatura los estiércoles de animales rumiantes mantuvieron un patrón definido durante los diferentes periodos de evaluación, los cuales fueron en el rango de 29 a 40°C. Para el caso de animales no rumiantes estos intervalos fueron de 31 a 61°C (Figura 4). El rango de temperatura mayor para los estiércoles de animales no rumiantes, puede deberse a que estos tipos de estiércol contienen cantidades mayores de minerales, principalmente nitrógeno proveniente de la proteína del alimento consumido por los animales, lo que produce una mayor actividad microbiológica y por consecuencia un incremento de la temperatura (Eghball, 2000; Yang, 2001). Por otro lado, los estiércoles de animales no rumiantes presentan contenidos de humedad más altos comparados con los animales rumiantes, lo que también generó aumento en la temperatura por efecto de la actividad microbiológica (Yang, 2001).

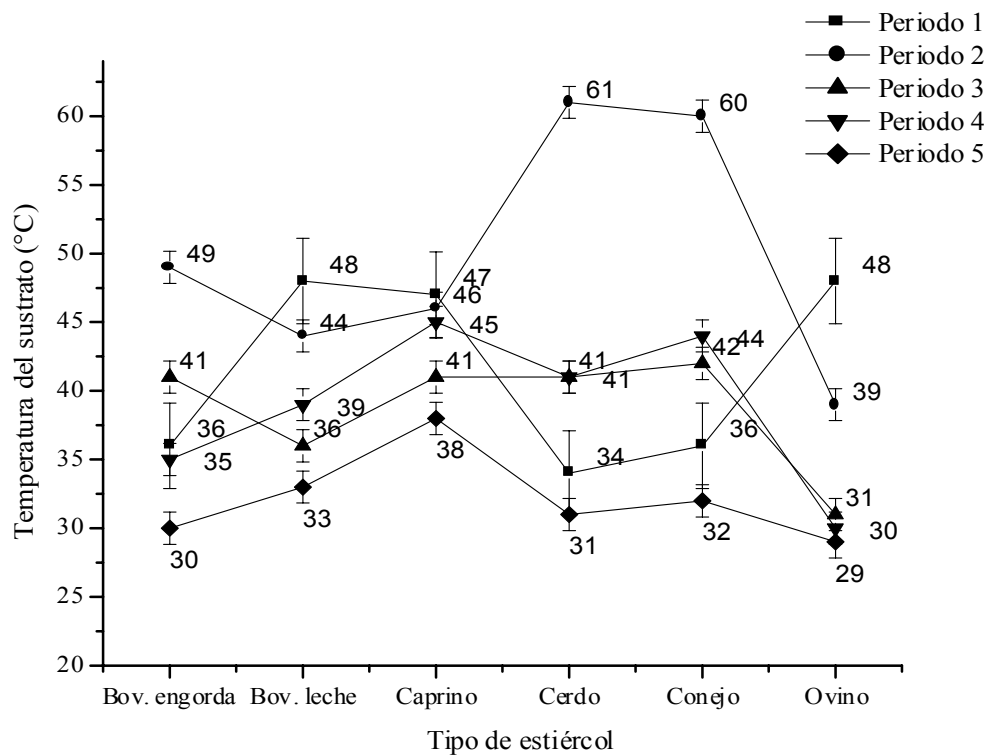


Figura 4. Medias de cuadrados mínimos ($\pm$ EE) para el efecto de la interacción de tipo de estiércol por periodo para la variable temperatura del sustrato.

CONCLUSIONES

La aplicación de aditivo a los estiércoles genera en la vermicomposta incremento en el contenido de hierro y de la relación C/N, pero disminuye el contenido de cobre, zinc y porcentaje de humedad.

Durante el vermicomposteo se presentan pérdidas de nitrógeno y potasio, pero se incrementan los contenidos de fósforo, calcio, magnesio, hierro, cobre, zinc y manganeso. La vermicomposta de estiércol de cerdo presentó el contenido más alto de fósforo, calcio, magnesio, cobre y zinc.

Los estiércoles sin aditivo presentan las temperaturas mayores durante el precomposteo que los estiércoles con aditivo y los estiércoles de animales no rumiantes presentan las temperaturas más altas que los estiércoles de animales rumiantes. El pH no presentó grandes diferencias entre los estiércoles con o sin aditivo durante el proceso de precomposteo.

LITERATURA CITADA

- Eghball B. 2002. Soil properties as influenced by phosphorus- and nitrogen-based manure and compost applications. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 94:128-135.
- Eghball B. 2000. Nitrogen mineralization from field-applied beef cattle feedlot manure or compost. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:2024-2030.
- Eghball B. y J. Power F. 1999. Phosphorus- and nitrogen-based manure and compost applications: corn production and soil phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:895-901.
- Eghball B. y J. Power F. 1999. Composted and noncomposted manure application to conventional and no-tillage systems: corn yield and nitrógen uptake. *Agron. J.* 91:819-825.
- García M., E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climáticas de Koppen para adaptarlo a las condiciones particulares de la República Mexicana. Edit. Talleres FOCET Larios. México, D. F. P 277.
- Martínez C., C. 1996. Potencial de la lombricultura. *Lombricultura Técnica*. Mex. D.F. 134 p.
- Martinez A., A. 1998. A grande e poderosa minhoca: manual prático do minhocultor. 4a. edicao. Editorial ABDR. Sao Pablo, Brasil.
- Masciandaro G., B. Ceccanti and C. Garcia. 2000. In situ vermicomposting of biological sludges and impacts on soil quality. *Soil Biol. Biochem.* 32:1015-1024.
- Misra R. V. y R. Roy N. 2002. On-farm composting methods. Natural Resource, Agriculture and Engineering Service, Cooperative Extension, Ithaka, New. York. USA. 150 p.
- Oste L. L., T. Lexmond M., y H. Willem V. 2002. Metal immobilization in soils using synthetic zeolites. *J. Environ. Qual.* 31:813-821.

- Romero-Lima M. D. R., A. Trinidad-Santos, R. García-Espinosa y R. Ferrera-Cerrato 2000. Producción de papa y biomasa microbiana en suelo con abonos orgánicos y minerales. *Agrociencia*. 34:261-269.
- Santamaria R., S. y R. Ferrera-Cerrato. 2002. Dinámica poblacional de *Eisenia andrei* (Bouché 1972) en diferentes residuos orgánicos. *Terra*. 20:303-310.
- Santamaría-Romero S., R. Ferrera-Cerrato, J. Almaraz-Suárez J., A. Galvis-Spinola y Barois-Boullard I. 2001. Dinámica y relaciones de microorganismos, C-orgánico y N-total durante el composteo y vermicomposteo. *Agrociencia*. 35:377-384.
- SAS. 2001. SAS/STAT User's guide. (Release 8.2) Cary (NC): SAS Institute Inc.
- Yang S., Y. 2001. Recent advances in composting. 216 pp. *In*: Proceedings of a seminar in commemorations of FFTC's 30th anniversary national Taiwan University (ed.) Issues in the management of agricultural resources. Taipei, Taiwan.

CAPÍTULO 5

RECOMENDACIONES GENERALES

La aplicación de diatomita y paja a los diferentes tipos de estiércol permitió disminuir el contenido de humedad y de nitrógeno, lo que contribuyó a reducir la mortalidad de las lombrices inoculadas. Sin embargo, es necesario continuar investigando las cantidades adecuadas de aditivo a ser aplicados a los estiércoles donde se presentó la muerte de lombrices, de manera que disminuya el contenido de nitrógeno a porcentajes menores a 0.8%, nivel considerado como crítico para la sobrevivencia de las lombrices. Por otra parte, para determinar las cantidades de aditivo a ser aplicados se debe considerar los contenidos de humedad de los diferentes estiércoles.

Con base en lo anterior, se recomienda el uso del aditivo para poder iniciar el proceso de lombricultura en los diferentes tipos de estiércoles sin realizar previamente el proceso de precomposteo.

Para reducir el tiempo de precomposteo se puede utilizar el aditivo en los diferentes tipos de estiércol, ya que permite acelerar el proceso e incorporar el sustrato rápidamente a las lombrices sin afectar su comportamiento productivo y reproductivo por efecto de incrementos en la temperatura. El aditivo permite disminuir la temperatura en un periodo corto y en niveles que no afectan la sobrevivencia de la lombriz. Por lo que, se recomienda el uso de aditivo en estiércoles cuando se requiera aplicarles precomposteo antes de ser proporcionados a las lombrices sin importar los contenidos de nitrógeno.

El aditivo reduce el contenido de nitrógeno en los estiércoles y el contenido de este elemento también es menor en la vermicomposta producto de la mezcla, pero se incrementan algunos otros minerales, de manera que el contenido mineral en la vermicomposta de estiércoles con aditivo se mejora.