



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO  
DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS  
NATURALES

ESTABLECIMIENTO Y EVALUACIÓN DEL POTENCIAL FORRAJERO  
DE *Leucaena leucocephala* var. *Cunningham* EN UN SISTEMA  
SILVOPASTORIL UTILIZADO POR OVINOS Y FERTILIZADO CON  
VERMICOMPOST DE *Eisenia fetida*

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL  
GRADO DE DOCTORA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS  
Y RECURSOS NATURALES

PRESENTA:  
**Vianey Colín Navarro**

Temascaltepec, Estado de México, junio de 2018.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO  
DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS  
NATURALES

ESTABLECIMIENTO Y EVALUACIÓN DEL POTENCIAL FORRAJERO  
DE *Leucaena leucocephala* var. *Cunningham* EN UN SISTEMA  
SILVOPASTORIL UTILIZADO POR OVINOS Y FERTILIZADO CON  
VERMICOMPOST DE *Eisenia fetida*

# TESIS

QUE PARA OBTENER EL  
GRADO DE DOCTORA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS  
Y RECURSOS NATURALES

PRESENTA:  
Vianey Colín Navarro

TUTORA ACADÉMICA:  
Dra. Francisca Avilés Nova

TUTORES ADJUNTOS:  
Dr. Ignacio Arturo Domínguez Vara  
Dr. Jaime Olivares Pérez

Temascaltepec, Estado de México, junio de 2018

## DEDICATORIAS

Para mi familia, especialmente a mi mamá por su amor y apoyo incondicional.

Para mi papá porque desde el cielo es mi fortaleza y mi ejemplo.

Para mi sobrino Franco por ser el regalo de amor más grande que nos dio la vida, te amo.

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue establecer y evaluar el potencial forrajero de *Leucaena leucocephala* var. Cunningham en un sistema silvopastoril pastoreado por ovinos en finalización, y fertilizado con vermicomposta de *Eisenia fetida*. El trabajo experimental se desarrolló en tres etapas. Etapa 1. Se analizaron las características físicas, químicas y microbiológicas de estiércol pecuario composteado durante el proceso del vermicompostaje. El estiércol pecuario utilizado estaba mezclado con residuos de la alimentación que se proporcionó a cada especie: bovinos, caprinos, equinos y ovinos que fueron colectadas de los corrales de cada especie. El suplemento alimenticio de los bovinos fue a base de soya, maíz molido, sorgo y sales minerales (MULTISAL). El suplemento alimenticio de los caprinos y ovinos se basó en rastrojo de maíz, sorgo molido, maíz molido, pasta de soya y sales minerales (MULTISAL). La alimentación de los equinos estaba basado en avena henificada. El estiércol se composteo por 45 d en pilas. El vermicompostaje con *Eisenia fetida* duró 60 d. El diseño experimental fue completamente al azar, con cuatro tratamientos (T1: compost estiércol ovino, T2: compost estiércol caprino, T3: compost estiercol equino y T4: compost estiercol bovino) con seis repeticiones cada uno. Las variables pH, MO, C orgánico y N total entre los procesos, presentaron diferencias ( $p = 0.001$ ,  $p = 0.0001$ ,  $p = 0.0001$ ,  $p = 0.007$ ,  $p = 0.0001$ , respectivamente). En la vermicomposta se detectó contenido mayor de *Pseudomonas*, hongos (*Aspergillus*) y actinomicetes. El proceso del vermicompostaje permite estabilizar biológicamente los estiércoles composteados para que puedan ser utilizados como enmienda orgánica para los suelos.

Etapa 2. Se estableció un SSP con *Leucaena leucocephala* var. Cunningham en dos parcelas de *Brachiarias* sp sembradas en el 2012, en la parcela 1 se trasplantaron 1500

plantas, formando 15 hileras (20 m de largo x 1.20 m de ancho) con 100 plantas por hilera, y en la parcela 2 1200 plantas formando 12 hileras (20 m de largo x 1.20 m de ancho). En cada hilera la distancia entre planta y planta fue de 20 cm. Los tratamientos fueron: *L. leucocephala* con vermicompost (Tratamiento 1) y *L. leucocephala* sin vermicompost (Tratamiento 2). Cada planta de la parcela 1, después del trasplante se abonó con 100 g vermicomposta de *Eisenia fetida*. Se seleccionaron seis plantas de ocho hileras donde se midió altura de planta, número de brotes, porcentaje de germinación y desarrollo radicular. Se encontraron diferencias entre tratamientos ( $p=0.0001$ ) y días de germinación ( $p=0.0001$ ), estos resultados muestran que las condiciones de crecimiento de las plantas se ven mejoradas al ser abonadas con vermicompost.

Etapa tres. Se utilizaron 30 corderos (Dorper x Katahdin) de  $20\pm 1$  kg de PV y se distribuyeron al azar, 15 por tratamiento. T1: ovinos finalizados en corral y T2: ovinos finalizados en el SSP. Se evaluó el crecimiento durante 90 d. Posterior al período de engorda los ovinos fueron sacrificados y se tomaron medidas morfométricas de la canal, se midió el pH, color, fuerza de corte y área del ojo de la chuleta. Para la GDP y características de la canal se utilizó un diseño completamente al azar, los datos fueron analizados con PROC MIXED (SAS, 2004) y se realizaron contrastes con LSMESTIMATE y CONTRAST. La GDP y las características de la canal y la carne no presentaron diferencias ( $P>0.05$ ) entre tratamientos. El tipo de alimentación obtuvo similares características de la canal y carne, por lo cual el SSP puede ser una alternativa en el pastoreo de ovinos.

**Palabras clave:** estiércol pecuario, vermicompostaje, sistema silvopastoril, *Leucaena leucocephala*, ovinos.

## ABSTRACT

The objective of the present study was to establish and evaluate the forage potential of *Leucaena leucocephala* var. Cunningham in a silvopastoral system pastored by sheep in finalization, and fertilized with *Eisenia fetida* vermicompost. The experimental work was developed in three stages. Stage 1. The physical, chemical and microbiological characteristics of composted livestock manure during the vermicomposting process were analyzed. The livestock manure used was mixed with waste from the diet that was provided to each species: cattle, goats, horses and sheep that were collected from the pens of each species. The bovine food supplement was based on soybeans, ground corn, sorghum and mineral salts (MULTISAL). The food supplement of goats and sheep was based on corn stubble, ground sorghum, ground corn, soybean paste and mineral salts (MULTISAL). The feeding of the horses was based on hay oats. The manure was composted for 45 days in piles. Vermicomposting with *Eisenia fetida* lasted 60 d. The experimental design was completely random, with four treatments (T1: sheep manure compost, T2: goat manure compost, T3: equine manure compost and T4: bovine manure compost) with six repetitions each. The variables pH, MO, organic C and total N between the processes, presented differences ( $p = 0.001$ ,  $p = 0.0001$ ,  $p = 0.0001$ ,  $p = 0.007$ ,  $p = 0.0001$ , respectively). In the vermicomposta, higher content of *Pseudomonas*, fungi (*Aspergillus*) and actinomycetes was detected. The process of vermicomposting allows to biologically stabilize the composted soils so that they can be used as an organic amendment for soils.

Stage 2. An SSP was established with *Leucaena leucocephala* var. Cunningham in two plots of *Brachiarias* sp sown in 2012, in plot 1 1500 plants were transplanted, forming 15 rows (20 m long x 1.20 m wide) with 100 plants per row, and in plot 2 1200 plants forming

12 rows (20 m long x 1.20 m wide). In each row the distance between plant and plant was 20 cm. The treatments were: *L. leucocephala* with vermicompost (Treatment 1) and *L. leucocephala* without vermicompost (Treatment 2). Each plant in plot 1, after transplantation, was fertilized with 100 g vermicompost from *Eisenia fetida*. Six plants of eight rows were selected where plant height, number of shoots, percentage of germination and root development were measured. Differences were found between treatments ( $p = 0.0001$ ) and days of germination ( $p = 0.0001$ ), these results show that the growth conditions of the plants are improved when fertilized with vermicompost.

Stage three: 30 lambs (Dorper x Katahdin) of  $20 \pm 1$  kg of PV were used and distributed randomly, 15 per treatment. T1: sheep finished in the pen and T2: sheep finished in the SSP. The growth was evaluated during 90 d. After the fattening period the sheep were sacrificed and morphometric measurements of the carcass were taken, the pH, color, cutting force and eye area of the chop were measured. For the GDP and characteristics of the channel a completely randomized design was used, the data were analyzed with PROC MIXED (SAS, 2004) and contrasts were made with LSMESTIMATE and CONTRAST. The GDP and the characteristics of the carcass and meat did not show differences ( $P > 0.05$ ) between treatments. The type of feeding obtained similar characteristics of the carcass and meat, for which the SSP can be an alternative in the grazing of sheep.

**Key words:** livestock manure, vermicomposting, silvopastoral system, *Leucaena leucocephala*, sheep.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por el regalo de la vida.

A mis hermanos Violeta y Paco por su apoyo.

A mis compañeros y amigos: Mario, Felipe, Lizbeth, Luis, Jair, Maricruz y Jorge por su gran ayuda y excelente compañía.

A la Dra. Francisca Avilés Nova por la oportunidad para realizar mis estudios de doctorado.

Al Dr. Ignacio A. Domínguez Vara, por darme su confianza y apoyo para terminar mi trabajo de tesis.

Al Dr. Jaime Olivares Pérez, por su colaboración en mi trabajo de tesis.

Al Dr. Ernesto Morales Almaraz y Dr. Daniel Trujillo Gutiérrez por su apoyo durante la investigación.



## CONTENIDO

DEDICATORIAS.....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	vi
AGRADECIMIENTOS.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
2.1 Ganadería y cambio climático.....	6
2.2 Producción ovina en el mundo.....	8
2.3 Producción ovina en México.....	9
2.3.1 Sistemas de producción ovina.....	10
2.4 Sistemas silvopastoriles (SSP).....	12
2.4.1 Componentes del SSP.....	12
2.4.2 Beneficios de los SSP.....	13
2.4.3 Producción ovina en SSP.....	14
2.4.4 Oferta y calidad nutritiva del forraje en SSP.....	15
2.4.5 Clasificación de los SSP.....	16
2.4.6 Uso de leguminosas forrajeras en los SSP.....	19
2.5 <i>Leucaena leucocephala</i> var. Cunningham.....	20
2.5.1 Uso de <i>Leucaena leucocephala</i> en los SSP.....	23
2.5.2 Establecimiento y desarrollo de <i>Leucaena leucocephala</i> .....	24
2.6 Uso del vermicompost para el establecimiento de <i>Leucaena</i> .....	25
2.7 Producción de carne en SSP.....	26
2.7.1 Características y calidad de la canal ovina.....	27
2.7.2 Calidad de carne ovina en SSP.....	28
III. JUSTIFICACIÓN.....	30
IV. HIPÓTESIS.....	31
V. OBJETIVOS.....	32
5.1. Objetivo general.....	32
5.2 Objetivos específicos.....	32
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	33

6.1. Zona de estudio .....	33
6.2 Etapa 1 .....	33
Elaboración y caracterización física, química y microbiológica de la vermicomposta. .....	33
6.3 Etapa 2 .....	35
Manejo y siembra de <i>Leucaena</i> .....	35
Muestreo de los componentes de SSP: suelo.....	36
6.4 Etapa 3 .....	36
6.5 Análisis estadísticos.....	39
VII. RESULTADOS.....	41
VIII. DISCUSIÓN GENERAL .....	96
IX. CONCLUSIONES.....	98
X. LITERATURA CITADA .....	99
XI. ANEXOS .....	110

## LISTA DE CUADROS

No.	TÍTULO	Pág.
1	Composición química de vainas y hojas de árboles forrajeros.....	20
2	Composición bromatológica de tallos y hojas de <i>L. leucocephala</i> .....	22

## LISTA DE FIGURAS

No.	TÍTULO	Pág.
1	Número de cabezas de ganado.....	10
2	Ovinos de pelo en pastoreo dentro de un SSP.....	15
3	Sistema silvopastoril en callejones <i>utilizando Leucaena leucocephala</i> y <i>Brachiarias</i> sp.....	17

## **ABREVIATURAS**

SSP: Sistema Silvopastoril

UP: Unidades de Producción

CLA: Ácido linoleico conjugado

GEI: Gases de Efecto Invernadero

BPG: Buenas Prácticas Ganaderas

UNO: Unión Nacional de Ovinocultores

MO: Materia Orgánica

GDP: Ganancia Diaria de Peso

PC: Proteína Cruda

FDN: Fibra detergente neutro

FDA: Fibra detergente ácido

MS: Materia seca

UA: Unidad Animal

## I. INTRODUCCIÓN

En los países en desarrollo, la ganadería y la agricultura deben someterse a una transformación importante para responder a los retos relacionados con la seguridad alimentaria y la respuesta al cambio climático. Las proyecciones basadas en el crecimiento de la población y los esquemas de consumo alimentario indican que el cambio climático reducirá, con toda probabilidad, la productividad, la estabilidad de la producción y los ingresos agrícolas en algunas zonas que ya tienen niveles altos de inseguridad alimentaria. Por lo tanto, desarrollar una ganadería y agricultura climáticamente inteligentes es crucial para lograr las metas de seguridad alimentaria y de cambio climático (FAO y GIZ, 2012).

Para el desarrollo de la ganadería sustentable es necesario establecer sistemas de producción basados en el aprovechamiento de recursos locales y características naturales y económicas de cada región. En este sentido, es necesario que las estrategias se dirijan de manera integrada para obtener resultados rápidos y eficientes, que tiendan hacia una ganadería competitiva (Solorio *et al.*, 2009). El establecimiento de sistemas silvopastoriles (SSP) es una alternativa, se caracterizan por tener mayor producción y calidad forrajera destinada a la alimentación animal (Murgueitio and Ibrahim, 2008; Murgueitio *et al.*, 2011). Las combinaciones dentro de un SSP incluyen árboles de leguminosas y otras especies forrajeras, pastos de corte y árboles maderables (Bautista *et al.*, 2011).

En estos SSP destaca la asociación de *Leucaena leucocephala* con otras especies forrajeras, principalmente gramíneas, debido a que esta leguminosa tiene altos

rendimientos y un elevado valor nutritivo; además, en la alimentación de rumiantes, puede usarse de forma eficiente bajo manejo de corte o pastoreo (Richardson, 2009).

Murgueitio *et al.* (2014) indicaron que los SSP son una herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático, su establecimiento contribuye a reducir los efectos negativos del ganado en pastoreo al medio ambiente. Ramírez *et al.* (2009) consignaron que los SSP pueden ser estrategias de manejo para mitigar el impacto de la producción pecuaria sobre suelos degradados por el sobrepastoreo, concluyendo que la incorporación de los SSP reduce el impacto negativo hacia el suelo y se recupera la productividad del sistema en forma sostenible. Bueno y Camargo (2015) establecieron un SSP incorporando *Leucaena leucocephala*, para mejorar el contenido de nitrógeno del suelo, utilizando semillas con y sin inóculo de *Rhizobium loti*, seis meses después el contenido de nitrógeno fue mayor en el SSP (88.86 kg/ ha contenido inicial de N<sub>2</sub> y 162 kg/ha contenido final de N<sub>2</sub>). Bacab y Solorio (2011) evaluaron la oferta de forraje, el consumo voluntario y la producción de leche de 50 vacas Suizo Americanas de aproximadamente 450 kg de peso vivo en dos unidades de producción (UP) con manejo en SSP (*Leucaena leucocephala* Cunningham asociada con *P. máximum*) donde la oferta de forraje era de 2470 kg MS ha<sup>-1</sup> pastoreo<sup>-1</sup> y de 2693 kg MS ha<sup>-1</sup> pastoreo<sup>-1</sup> comparadas contra una UP con manejo en sistema tradicional (pasto *C. plectostachyus* en monocultivo) donde la oferta de forraje era de 968 kg MS ha<sup>-1</sup> pastoreo<sup>-1</sup>; en el sistema tradicional las vacas recibieron 8 kg animal<sup>-1</sup>día<sup>-1</sup> de concentrado y en el SSP 1.5 kg animal<sup>-1</sup>día<sup>-1</sup>; los animales se mantuvieron en la pradera por 20 h (solo se retiraban para el ordeño). La producción de leche fue de 9.0 y 9.2 lt en SSP y de 10.4 lt en sistema tradicional, estos resultados los atribuyen a que se suministró mayor cantidad de concentrado a los animales en la UP tradicional. Los resultados indicaron que los SSP

son una opción factible y sustentable para mejorar los sistemas ganaderos, con alta oferta de forraje disponible, reducción del uso de concentrado y producciones de leche aceptables.

El manejo sustentable de los sistemas de producción animal es promotor de prácticas que permiten hacer uso eficiente y adecuado de los residuos que se derivan directa o indirectamente de la ganadería (Hernández *et al.*, 2013); por ello, en los últimos años, ha crecido el interés a nivel mundial, por fomentar el vermicompostaje, debido al papel que desempeñan las lombrices en la transformación de los residuos orgánicos contaminantes en humus de lombriz o vermicomposta (López *et al.* 2013). El uso de la vermicomposta, en suelos cultivados, permite devolver la materia orgánica y aportar nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, boro, zinc, cobre, manganeso, hierro, calcio) que son extraídos para la producción de las plantas (Rotondo *et al.*, 2009). Murray *et al.*, (2011) evaluaron por un periodo de 5 años, el efecto de la materia orgánica (MO) sobre la densidad y porosidad del suelo en un sistema agroforestal, los resultados indicaron un aumento del 22.1 % en los niveles de porosidad en el suelo debido al incremento de la MO (0.51 % inicial y 3.85 % final) y la disminución de la densidad aparente ( $D_a$ ) del 1.4  $\text{kg dm}^{-3}$  a un 1.09  $\text{kg dm}^{-3}$ ; los niveles de recuperación del suelo son atribuidos a la hojarasca que cae sobre las primeras capas del suelo.

Para el año 2050, los sectores agrícola y pecuario, tienen el desafío de aumentar su producción en más de 60 % para alimentar al mundo (FAO, 2012); una opción que contribuye a elevar la productividad y la rentabilidad de las empresas pecuarias en el trópico, tiene que ver con las innovaciones que en la alimentación y el manejo del ganado se están dando, mediante los diferentes tipos de sistemas silvopastoriles (SSP), los que han demostrado tener resultados más satisfactorios que los sistemas tradicionales



actuales (González, 2013). Los SSP se aproximan al concepto de modelos de producción ganadera sostenible y representan una alternativa para otorgar valor agregado a la producción de leche y carne. Es evidente que en la actualidad, los sistemas de producción ganadera deben incorporar los recursos locales, para obtener más rentabilidad, derivado de los altos costos de los alimentos ricos en granos (Wanapat, 2009)

Estrada *et al.*, 2017 evalúan el beneficio económico de los SSP en una unidad de producción (UP) con 64 vacas en ordeño en una UP de Apatzingan, Michoacán con 48 has sembradas con *Leucaena leucocephala* y *Panicum máximum*. Las vacas en producción recibieron 3 kg de sorgo molido vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, después del ordeño las vacas ingresaban al potrero de SSPi. Los resultados encontrados muestran que la materia seca de forraje ofrecido fue de 787 y de 1,631 kg de MS ha<sup>-1</sup> y el CMS de forraje fue de 4.65 y 6.85 kg de MS vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, de *Leucaena* y *Tanzania*, respectivamente, demostrando que el 80% del alimento de las vacas se cultiva en la propia UP y el restante 20% se compra en el exterior de la UP mostrando una menor dependencia económica. Además Montero *et al.* (2011) al evaluar la calidad de la canal en relación al perfil de ácidos grasos en la grasa intramuscular de toretes cruzados  $\frac{3}{4}$  Europeo vs.  $\frac{3}{4}$  Cebú en finalización en pastoreo (*Cynodon nlemfuensis*) y en corral (ración con maíz, soya y sebo). Los animales que se mantuvieron en corral con dietas integrales ingirieron mayor cantidad de ácidos grasos (84.5 g d<sup>-1</sup> palmítico, 62.0 g d<sup>-1</sup> esteárico, 105.0 g d<sup>-1</sup> oleico y 185.1 g d<sup>-1</sup> linoleico) mediante los ingredientes de la dieta en corral con respecto a los toretes que se encontraban en pastoreo (70.5 g d<sup>-1</sup>, 31.7 g d<sup>-1</sup>, 48.9 g d<sup>-1</sup> y 63.5 g d<sup>-1</sup> respectivamente), atribuyendo esta diferencia en el contenido de ácido linoleico conjugado (CLA) entre

tratamientos al pastoreo en SSP el cual permite mejorar la concentración de estos ácidos grasos, al provenir directamente de la síntesis en rumen.

El objetivo del presente estudio fue establecer y evaluar el potencial forrajero, en un sistema silvopastoril, de una pradera de *Leucaena leucocephala* var. Cunningham, fertilizada con vermicomposta de *Eisenia fetida*, así como el crecimiento, las características de la canal y calidad de la carne de ovinos de pelo pastando la pradera.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Ganadería y cambio climático

En el mundo, la producción animal a base de pastoreo, en su mayoría, dependen de la disponibilidad de los recursos naturales, los cuales han sufrido constantes variaciones interanuales y estacionales, que han afectado la disponibilidad del forraje, lo que representa una reducción en la producción pecuaria (Steinfeld *et al.*, 2009). Algunas modelaciones a nivel mundial señalan que estos sistemas se verán gravemente afectados particularmente en África, Australia, América Central y Asia Meridional. En estas zonas algunos estudios pronostican hasta el 50% de pérdida de biomasa disponible (Nardone *et al.*, 2010).

En la medida que el cambio climático se hace más evidente y observable, la necesidad de valorar la respuesta de los sistemas productivos agropecuarios se hace más urgente. Una de las preocupaciones más importantes es reducir la vulnerabilidad de los sistemas productivos a los cambios pronosticados y esperados, buscando estrategias de manejo adaptativo que propicien la resiliencia del sistema y que permitan una baja intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a lo largo de la cadena productiva. Además de las buenas practicas ganaderas tales como la protección de las fuentes de agua, la conservación de los fragmentos de bosques nativos, la protección del suelo y el pastoreo rotacional con reducción de agroquímicos, pueden contribuir a emitir o retener otros GEI importantes en la mitigación del cambio climático (Murgueitio *et al.*, 2009).

Para reducir los efectos negativos de la ganadería de pastoreo al medio ambiente, en especial a las mayores emisiones de GEI, se ha propuesto una intervención integrada que incluye reducción de la deforestación, mejoramiento de la dieta de los animales,

empleo de fuentes naturales de nutrientes (fijación de nitrógeno atmosférico y reciclaje de nutrientes) y estímulo a procesos biológicos (vermicompostaje) para sustituir el uso de fertilizantes inorgánicos (Chará *et al.*, 2011).

Varios temas polémicos rodean a la producción ganadera. Se sabe que el sector pecuario produce el 9 % de las emisiones de CO<sub>2</sub> de origen antropógeno, la mayor parte de las cuales se deben a los cambios de uso de la tierra (principalmente, la deforestación) causados por la expansión de los pastizales y las superficies destinadas a la producción de forrajes. La ganadería es responsable también de la emisión de algunos gases que tienen un mayor potencial de calentamiento de la atmósfera, por ejemplo, el sector emite el 37 % del metano, el cual proviene en su mayor parte del proceso de fermentación ocurrido en la digestión entérica de los rumiantes y tiene un potencial de calentamiento global (PCG) 23 veces mayor que el del CO<sub>2</sub>, y el 65 % del óxido nitroso, cuyo PCG es 296 veces mayor que el del CO<sub>2</sub>, en su mayor parte proveniente del estiércol. La ganadería también es responsable de casi las dos terceras partes (64 %) de las emisiones de amonio, las cuales contribuyen significativamente a la lluvia ácida y a la acidificación de los ecosistemas. Estos altos niveles de emisiones hacen que existan grandes oportunidades para mitigar el cambio climático a través de la actividad ganadera (Steinfeld *et al.* 2009).

La búsqueda de estrategias para mitigar el efecto del cambio climático ha comenzado a cobrar relevancia a nivel mundial. Existe un amplio abanico de oportunidades tecnológicas basadas en la agroforestería, agroecología, y opciones de buenas prácticas ganaderas (BPG). En el contexto de la ganadería extensiva que predomina actualmente, el aprovechamiento de la diversidad arbórea y arbustiva local es

una oportunidad de fácil acceso a los productores, debido a los múltiples usos y servicios ambientales que ofrece este recurso. Existen especies de árboles nativos que cumplen funciones múltiples, tales como la producción de madera, leña, forraje, alimento, medicina tradicional y dan servicios como sombra, fertilización del suelo, y sirven de corredores biológicos al ser cultivadas en SSP para mitigar los efectos del cambio climático (Murgueitio *et al.*, 2013; Palmer, 2014).

La incorporación de estas especies en sistemas silvopastoriles (SSP) pueden representar una opción para el uso sostenido de la tierra con beneficios directos sobre el productor y el medio ambiente. Además, pueden contribuir en disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) mediante la reducción de la deforestación o degradación de los bosques, evitando fugas y mejorando las reservas de carbono, y proveer de servicios ecosistémicos múltiples a la sociedad, con lo que se promueve el desarrollo sustentable (Marinidou, 2013).

## **2. 2 Producción ovina en el mundo**

La población ovina del mundo tiene un bajo crecimiento con tendencias diferentes entre continentes o regiones. De un inventario de 1,080,444,334 de ovinos en 2004 pasó a 1,209,908,142 en 2014, equivalente al 11.98% de crecimiento en el periodo. África y Asia tienen más del 70% de la población ovina. América es el continente en el que se concentra la menor cantidad de ovinos, con más de 87 millones de cabezas, que representan un 7.2% de la población mundial. China es el país con la mayor población de ovinos, seguido de Australia, India e Irán (SAGARPA, 2016). Si bien, los países en vías de desarrollo poseen la mayor cantidad de animales, son los países desarrollados los principales exportadores de sus productos (Australia con 71 millones y Nueva Zelanda

con 33 millones de cabezas), y los que tienen mayor ventaja competitiva (Nueva Zelanda, Australia, Irlanda, Bélgica, España, Francia, Alemania, Países Bajos y Bulgaria) (Rodríguez, 2013).

Algunos aspectos que han contribuido al desarrollo de esta industria en países como Nueva Zelanda y Australia incluyen la legislación del uso de tierras, producción más intensiva, utilización de razas especializadas, desarrollo de nuevos productos y modelos de producción, eficiencia de producción, implementación de prácticas de bienestar animal, uso correcto del ambiente natural y de recursos no renovables, la calidad e inocuidad de los productos y la evaluación nutricional de los recursos alimenticios (Rodríguez, 2013).

### **2.3 Producción ovina en México**

La Unión Nacional de Ovinocultores (UNO), organismo que agrupa a los productores de ovinos del país, declararon que en México existe un inventario de alrededor de 8.7 millones de ovinos (figura 1). La población ovina se ha incrementado en los últimos 16 años un 2.9 % anual y el nivel de productividad ha crecido a un ritmo de 5.6 %. De igual forma la producción de carne de ovinos se ha incrementado de forma significativa, al pasar de 30 mil t en 1999 a 58 mil t en 2016 (SIAP-SAGARPA 2017).

Actualmente 10 estados concentran el 71% de la producción de carne ovina en nuestro país; estos son: México, Hidalgo, Zacatecas, Veracruz, Puebla, Jalisco, Guanajuato, Tlaxcala, Oaxaca y San Luis Potosí. Este esfuerzo ha contribuido a disminuir las importaciones de carne de ovino del extranjero y a abrir nuevas oportunidades para los productores nacionales (SIAP-SAGARPA 2017).



**Figura 1. Número de cabezas de ganado** (Fuente: SIAP-SAGARPA 2017)

### 2.3.1 Sistemas de producción ovina

Para el desarrollo de la ovinocultura, México posee una orografía muy diversa, con una climatología que cambia fuertemente de un lugar a otro y con múltiples recursos naturales que son aprovechados en distintos sistemas de producción, que difieren por su grado de intensidad (intensivo, semi intensivo, extensivo) y por el nivel tecnológico que tienen (tecnificado, semi tecnificado y tradicional). Esta amplia gama en los sistemas productivos origina fluctuaciones estacionales en la disponibilidad de ganado para el abasto, y ocasiona mucha irregularidad en el tipo y la condición de los animales que se producen, lo que se ve reflejado en la calidad del producto final (Boari *et al.*, 2014).

Los sistemas de producción intensiva de ovinos se pueden llevar a cabo en pastoreo o en completa estabulación, donde los animales se mantienen confinados en corrales que cuentan con todo el equipo necesario para su cuidado, como pisos de madera elevados, sombra, comederos y bebederos automáticos. La alimentación se basa en dietas integrales o de forraje de buena calidad, complementados con alimento concentrado cuya cantidad depende de la etapa productiva, para que los animales logran ganancias de peso elevadas en poco tiempo. En este sistema se cuenta con buenos

manejos alimenticio, reproductivo y sanitario, por lo cual se tiene una mínima mortalidad de los animales (Partida *et al.*, 2013).

El sistema de producción semi-intensivo, también conocido como diversificado, además del pastoreo, los ovinos reciben complementos alimenticios. Los ovinos pastan en las primeras horas de la mañana y regresan en la tarde, antes del anochecer, o incluso permanecen en la pradera. En estos sistemas también se tienen cuidados sanitarios y se lleva a cabo un manejo reproductivo del rebaño (Gaspar *et al.*, 2008).

El sistema de producción más utilizado a nivel mundial es el extensivo, donde los ovinos pastan especies nativas en tierras comunales no aptas para la agricultura, como regiones montañosas o semidesérticas (Zervas and Tsiplakou, 2011). Los animales se encuentran en un rebaño que incluye hembras, machos y crías, no cuentan con ningún control reproductivo o sanitario y el número de corderos producidos es muy bajo a casusa de enfermedades y robos. Tampoco reciben algún complemento alimenticio, en algunas ocasiones se proporcionan esquilmos o subproductos agrícolas de la región. Las instalaciones son rústicas, con poca higiene, y para su construcción se utiliza material de la misma zona (Galaviz *et al.*, 2011).

Para el desarrollo de una ganadería ovina sustentable es necesario establecer sistemas de producción basados en el aprovechamiento de los recursos locales, la capacidad de los pequeños productores y las características de la situación natural y económica de cada región. En este sentido, es necesario que las estrategias se dirijan de manera integral para obtener resultados rápidos y eficientes, hacia una ganadería altamente competitiva (Solorio *et al.*, 2009).

Una alternativa que permite reducir costos de alimentación es la utilización de leguminosas asociadas con gramíneas (sistemas silvopastoriles), debido al mayor aporte



nutritivo de las leguminosas, que contiene más de 20% de proteína. El uso de gramíneas y leguminosas incrementa la biodiversidad vegetal; los animales cosechan un alimento mucho más balanceado en comparación con el de la pradera de monocultivo y la leguminosa contribuye con la fijación de nitrógeno al suelo (García *et al.*, 2008).

## **2.4 Sistemas silvopastoriles (SSP)**

La intensificación ganadera con generación de servicios ambientales debe emplear principios agroecológicos que busquen elevar al máximo la eficiencia de procesos biofísicos esenciales como son la fotosíntesis en tres o cuatro estratos de vegetación, la fijación de nitrógeno y el reciclado de nutrientes con la finalidad de aumentar la producción de biomasa e incrementar el contenido de materia orgánica (MO) del suelo (Murgueitio *et al.*, 2011).

La palabra silvopastoril proviene de los vocablos silvo que significa “bosque” y pastoril que significa “herbáceo o forrajero”, ambos son los componentes primarios de los SSP, que son asociaciones de árboles o arbustos leñosos perennes, gramíneas y animales (CIPAV, 2009). Los SSP contribuyen a que la actividad ganadera reduzca sus emisiones de GEI, a través de la captura de carbono en árboles y suelos derivado del aumento en la cobertura vegetal y a la disminución de los procesos de deforestación; adicionalmente se cuenta con forrajes y pastos de mejor calidad nutricional para disminuir las emisiones de CH<sub>4</sub> a la atmosfera debido a un proceso fermentativo más eficiente a nivel ruminal (Murgueitio *et al.*, 2011).

### **2.4.1 Componentes del SSP**

Los principales componentes del SSP son el suelo, el pasto, los árboles y el ganado. La intensidad de las interacciones entre los componentes es mayor cuando éstos

comparten simultáneamente el mismo espacio. Una interacción es la influencia de un componente sobre el desempeño de los otros componentes del mismo sistema. Por ejemplo, debajo de la copa de los árboles la temperatura ambiental es 1.5 a 3 grados menor que la temperatura en las áreas descubiertas creando un ambiente favorable para el ganado, lo cual permite que dedique más tiempo a pastorear; también el estiércol del ganado aporta nutrientes al suelo y sirve para el crecimiento del pasto y los arboles (Guharay *et al.*, 2015).

#### **2.4.2 Beneficios de los SSP**

Los SSP brindan múltiples beneficios ambientales como la conservación del agua, secuestro de carbono y GEI, conservan la biodiversidad del suelo, aumentan la resiliencia y sostenibilidad del ecosistema, además de representar una opción de producción menos agresiva con el medio ambiente. En estos la energía solar se utiliza de manera más eficiente por la biomasa vegetal, debido a la estratificación vertical de los componentes vegetativos del sistema (Alonso, 2011; Andrade *et al.*, 2008).

Los SSP contribuyen para que la ganadería reduzca sus emisiones de GEI, a través de la captura de carbono en árboles y suelos debido al aumento de la cobertura vegetal y a la disminución de los procesos de deforestación; adicionalmente, al contar con pastos y forrajes de mejor calidad nutricional (hojas de árboles y praderas más exuberantes) se reducen significativamente las emisiones de metano a la atmosfera debido a un proceso fermentativo más eficiente a nivel ruminal e indirectamente, por la reducción en el uso de fertilizantes nitrogenados, pesticidas y otros insumos. Además, los SSP permiten disminuir las emisiones ya que promueven una mejor productividad por animal, lo que

mejora el balance entre superficie utilizada y kg de CO<sub>2</sub>; mayor productividad, lo que redonda en menores emisiones por unidad de producto y una mayor eficiencia a lo largo de la cadena productiva en términos de CO<sub>2</sub> (Murgueitio *et al.*, 2011).

### **2.4.3 Producción ovina en SSP**

Los sistemas de producción de rumiantes en las regiones tropicales son, en su mayoría, de tipo extensivo. En ellos se utilizan vastas extensiones de tierra para el cultivo de pastos. La alimentación de ovinos en estas condiciones se basa en pastoreo de especies de pastos nativos y de otros introducidos. La disponibilidad y calidad del pasto experimenta fluctuaciones durante el año, debidas a las variaciones en la temporada de lluvias (Ku-Vera *et al.*, 2013).

La adición de leguminosas forrajeras arbóreas como *Leucaena leucocephala*, dentro de SSP, puede jugar un papel muy importante debido a que proveen un forraje rico en nutrientes, especialmente en proteína, vitaminas y minerales. Este forraje puede ser incluido en la dieta de los rumiantes para incrementar la ingestión y la digestibilidad de los pastos de menor calidad (Wencomo, 2008).

Las leguminosas usadas en los SSP tienen en promedio 18 % de PC; en bovinos se pueden obtener ganancias diarias de peso (GDP) en zonas tropicales hasta de 800 g animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, y en ovinos 106 g animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> (Wencomo, 2008, Barros y Rodríguez *et al.*, 2012). Por lo anterior, la asociación de leguminosas forrajeras como *L. leucocephala* con gramíneas, dentro de los SSP, se presenta como una alternativa para la producción ovina (figura 1) debido a que proveen una dieta rica en nutrientes, constituyendo una

opción importante ya que se incorpora el componente arbóreo, la diversidad de especies, el reciclaje y liberación de nutrientes, en sincronía con los componentes del sistema.



Figura 2. Ovinos de pelo en pastoreo dentro de un SSP

#### **2.4.4 Oferta y calidad nutritiva del forraje en SSP**

Los árboles y arbustos en los pastizales aumentan la calidad y cantidad de forraje disponible, en estos se favorece la diversidad de especies de plantas con diferentes tipos de crecimiento y fenología dando lugar a forrajes con calidad nutricional variada, esto permite que los animales complementen su dieta ya que hay mayores posibilidades de cubrir sus requerimientos nutricionales y alcanzar su potencial productivo (Velázquez-Martínez *et al.*, 2010; Alonso *et al.*, 2011). Esta capacidad del ganado de seleccionar una mejor dieta, no es posible en sistemas basados en el monocultivo de gramíneas.

La implementación de prácticas como el silvopastoreo, permite la integración de árboles y arbustos con la producción animal. Con este modelo, se pueden desarrollar sistemas de producción más racionales, que atenten menos contra el equilibrio ecológico de la región tropical y que puedan mejorar el comportamiento de los rumiantes (ganancia

de peso, producción de leche), la calidad de los productos de origen animal (incremento de los CLA's en carne y leche) y la rentabilidad mediante la manipulación de la fermentación ruminal (Ku Vera *et al.*, 2014).

#### **2.4.5 Clasificación de los SSP**

La clasificación de los SSP es diversa y depende principalmente de la posición o ubicación del componente árbol dentro del potrero. En algunos casos se evidencia un diseño claramente orientado a obtener un beneficio económico, social o ecológico de las interacciones entre el componente leñoso con las pasturas y animales, mientras que en otros la presencia del componente leñoso puede ser el resultado de procesos de regeneración natural (CONAFOR, 2010).

##### **2.4.5.1 Bancos forrajeros**

Conocidos también como bancos de proteína, bancos de energía o bancos energético-proteicos. El banco forrajero es un área donde se siembran y cultivan árboles o arbustos en bloques compactos de alta densidad, con la finalidad de maximizar la producción de biomasa de alta calidad nutritiva (proteína y digestibilidad) para la suplementación animal en la época de seca. El follaje de la especie arbórea debe contener al menos un 15 % de proteína cruda. Si además de la proteína, el follaje ofrece niveles altos de energía (más del 70 %) se le considera como un banco energético-proteico.

##### **2.4.5.2 Sistema silvopastoril en callejones**

Los árboles o arbustos forrajeros se establecen en hileras simples o dobles a una distancia tal que permita la introducción de animales o de maquinaria entre las hileras

(figura 3). Una de las características principales de este diseño es que los animales consumen el follaje directamente de los árboles; se recomienda utilizar especies leguminosas de crecimiento rápido que soporten el ramoneo. Una ventaja de las leguminosas es que mejoran el aprovechamiento (digestibilidad) de la pastura disponible en el sistema. Para evitar que los árboles alcancen una altura excesiva y los animales no puedan consumir el follaje, se recomienda realizar podas (dos o más al año) para uniformizar el tamaño de los árboles. El material que se obtiene con las podas puede ser ensilado para aprovecharlo en la época de mayor necesidad, o depositarlo directamente al suelo para la reincorporación de materia orgánica y mejorar su fertilidad (CONAFOR 2010).



Figura 3. Sistema silvopastoril en callejones utilizando *Leucaena leucocephala* y *Brachiarias* sp.

El animal dispone de una fuente de proteína y/o energía para consumo directo. Este SSP mejora la composición botánica disponible para alimentación animal, así como la temperatura en los potreros (microclima) y, en consecuencia, los animales pueden

dedicar más tiempo al consumo de alimento. Las leguminosas fijan nitrógeno en el suelo con lo que mejora la calidad del pasto (reciclaje de nutrientes).

#### **2.4.5.3 Árboles y/o arbustos dispersos en potrero**

Básicamente, los productores dejan crecer árboles y/o arbustos que nacen de la regeneración natural en los potreros; tales árboles se distribuyen de manera dispersa (sin ningún arreglo). La selección de árboles y/o arbustos en los potreros responde a las necesidades e intereses del productor. Por lo general, busca obtener algún beneficio con ese árbol en su potrero: sombra para que los animales vayan a rumiar y descansar, fuente de fruta o follaje, protección al ganado, posibilidad de obtener madera.

#### **2.4.5.4 Pastoreo en plantaciones forestales y frutales**

En este sistema el producto primario es la obtención de madera, leña y frutos; la ganadería es un producto secundario, aunque en los primeros años de la plantación realmente son los animales los que sostienen o generan ingresos. Por lo tanto, este tipo de SSP constituye una buena posibilidad para la diversificación de la producción en fincas ganaderas.

#### **2.4.5.5 Cercas vivas**

Uno de los sistemas silvopastoriles más comunes es el establecimiento de árboles y/o arbustos de diferentes especies en los linderos del rancho para demarcar divisiones de potreros o cultivos. Este sistema se conoce como cerca viva y es muy utilizado porque disminuye los costos de establecimiento y mantenimiento del cercado. Además de los beneficios económicos, desde el punto de vista ecológico también es muy valioso pues las hileras de árboles ayudan a conectar parches de bosque fragmentado. Esta función se conoce como corredor biológico, ya que las aves y mamíferos migratorios utilizan los

árboles plantados en el cercado para descansar, obtener algún alimento o anidar (Villanueva *et al.* 2008).

#### **2.4.5.6 Cortinas rompevientos y barreras vivas**

Este diseño silvopastoril busca ofrecer protección contra el viento a los animales, al pasto y al suelo. Una de las principales causas de los problemas respiratorios del ganado en épocas de frío son las fuertes corrientes de aire frío. Una hilera densa de árboles de tamaño y copa grande disminuye la velocidad del viento y evita que los animales sufran el embate de los vientos y así se mantienen saludables.

#### **2.4.6 Uso de leguminosas forrajeras en los SSP**

Los SSP entendidos como el uso y manejo integral de los árboles, forrajes y animales son una buena opción para enfrentar los problemas de baja disponibilidad de forraje, específicamente en la época de sequía. El uso de leguminosas arbustivas ayuda a reducir la erosión, la pérdida de fertilidad y la compactación del suelo; mejora el reciclaje de nutrientes, la fertilidad y estructura del suelo, incrementa el contenido de nitrógeno mediante la fijación que hacen al suelo y genera un beneficio al productor tanto por una mejora en la producción, la protección al medio ambiente y una notable disminución en los costos. Los arboles más utilizados son los frutales por que no compiten con el forraje además de son fuentes de proteínas para la alimentación animal (Lobo, 2006). En el cuadro 1 se presenta la composición química de algunas especies forrajeras.



Cuadro 1. Composición química de vainas y hojas de árboles forrajeros (% en Base Seca).

Especie forrajera	FDN	FDA	Cenizas	PC
<i>Guazuma ulmifolia</i> (hoja)	53.20	31.54	11.81	15.30
<i>Leucaena leucocephala</i> (hoja)	46.83	24.22	12.08	21.57
<i>Samanea saman</i> (vaina)	34.37	25.06	4.29	16.08
<i>Acacia cochliacantha</i> (vaina)	57.36	45.54	5.22	10.91
<i>Guazuma ulmifolia</i> (vaina)	55.10	44.54	6.41	8.11
<i>Leucaena leucocephala</i> (vaina)	53.07	38.88	6.85	19.83
<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (vaina)	28.38	20.40	4.13	19.50

Fuente: Hernández *et al.*, 2018. FDN= fibra detergente neutro; FDA= fibra detergente ácido; PC= proteína cruda.

Un aspecto importante a considerar en el uso de las especies arbóreas en la alimentación animal, es la presencia de metabolitos secundarios como los fenoles y los taninos; estos compuestos al ser consumidos, se relacionan con problemas como toxicidad potencial, reducción en la palatabilidad y en la digestibilidad de algunas especies forrajeras y efectos adversos sobre la respuesta animal, entre otros (Ku *et al.*, 1999).

### **2.5 *Leucaena leucocephala* var. Cunninghamham**

La *Leucaena* es un árbol inerme que puede alcanzar los 20 m de altura, pero por lo general no es más que un arbusto de unos 3 m o menos, con las ramillas pubescentes, pecioladas, de 3 a 6 cm de largo, con o sin glándulas y pinnas superiores un poco más cortas que las inferiores. Foliolos uniuiláteros, flores blancas globulares, axilares o

terminales en su mayoría aglomeradas, de 1.5 a 3 cm de diámetro (Yepes, 1974). Produce gran cantidad de semillas en casi todos los climas en que es cultivada. Las vainas frescas contienen alrededor de 70-90 % de semillas duras (Hutton, 1975).

Algunas de las características que le confieren su gran potencial productivo son: amplio rango de adaptación, habilidad para prosperar en condiciones ecológicas desfavorables y diversidad de usos que puede darse a sus productos (como fuente de leña y madera, control de la erosión del suelo, recuperación de terrenos agrícolas, conservación del suelo y agua, reforestación y capacidad para proveer sombra para otras plantas (Dijkaman, 1980).

Las hojas y las vainas de *L. leucocephala* se usan extensamente como forraje para animales rumiantes, destacándose su alto contenido (24-30 %) de proteína cruda (PC), la cual depende de la variedad y la época del año (García *et al.*, 2008), su contenido nutricional en hojas y tallos se muestra en el cuadro 2. La digestibilidad de la proteína alcanza el 63 % y la digestibilidad de la MS entre 60 y 70 % medida *in vivo* (Barros-Rodríguez *et al.*, 2012). El contenido de taninos presentes en las hojas puede ser usado como un agente antihelmíntico natural contra los nematodos gastrointestinales en los rumiantes (Alonso *et al.*, 2010).

Cuadro 2. Composición bromatológica de tallos y hojas de *L. leucocephala*.

Composición (%)	Parte de la planta	
	Hoja	Tallo
Materia seca	90.54	93.02
Proteína cruda	20.10	5.74
Hemicelulosa	5.75	--
Celulosa	12.19	--
Lignina	12.91	--
Mimosina	0.88	0.19
Energía bruta (Mcal/kg MS)	4.31	4.14

Fuente: Saavedra *et al.*, 1980

El consumo de esta leguminosa a altas densidades podría verse limitado debido al aporte excesivo de nitrógeno en la dieta, lo que ocasiona un desbalance nutricional de proteína-energía ocasionando una deficiente síntesis de proteína microbial, y como consecuencia niveles altos de amoniaco en la sangre lo que influye en el consumo voluntario. Por otro lado, está la presencia de mimosina que es un aminoácido proteico que es abundante en algunas especies de *L. leucocephala* (Calsamiglia *et al.*, 2010). La mayor concentración de mimosina en la planta se presenta en las partes tiernas en activo crecimiento por lo que las hojas tiernas contiene dos o tres veces más concentración que las hojas maduras y el follaje tierno tres veces más que los tallos. Algunos de los síntomas causados por niveles tóxicos de mimosina incluyen pérdida de peso, caída de pelo, aborto, infertilidad, disminución de secreción láctea, deformaciones fetales y otras anomalías (Gutiérrez, 1984).

### 2.5.1 Uso de *Leucaena leucocephala* en los SSP

Las bondades de los SSP basados en *Leucaena leucocephala*, son reconocidas en el orden productivo, económico y ambiental, pero están limitados en zonas con suelos inundables o con elevado nivel freático (Murgueitio y Solorio, 2008). En los SSP el suministro de *Leucaena leucocephala* al ganado genera una reducción en las emisiones de metano, kg de MS por kg de MS digerida; esto a su vez genera una reducción en las emisiones de metano por kilo de carne o leche producida en los SSP (Gaviria *et al.*, 2012); se generan menores pérdidas de nitrógeno hacia la atmósfera por rápido y eficiente reciclaje de excretas. Un balance preliminar del uso de los SSP evidencia efectos positivos donde las menores pérdidas de nitrógeno y la mayor captura de carbono compensan las emisiones de metano del ganado. Los ganaderos cada vez son más conscientes de la urgencia de realizar acciones para la adaptación de los sistemas ganaderos al cambio climático (Naranjo *et al.*, 2012; Murgueitio *et al.*, 2013).

El arbusto forrajero con más investigación y difusión entre productores es la *Leucaena leucocephala* cuyo cultivar Cunningham, ofrece mayores ventajas para el ramoneo por su flexibilidad en las ramas, elevada fijación de nitrógeno, menores contenidos de mimosina, tolerancia a la sequía, alta capacidad de rebrote, aceptación total por los rumiantes y persistencia después de sembrado (Uribe *et al.* 2011). Empleado con altas densidades iniciales (siembras de 8 a 10 kg de semilla ha<sup>-1</sup>) se inocula con bacterias fijadoras específicas (*Rhizobium*), se siembra en forma mecanizada en terrenos planos o con pendiente suave y se cultiva asociada a gramíneas tropicales escogidas por su elevada producción de biomasa, adaptación a la sombra y respuesta positiva al nitrógeno (Molina *et al.*, 2011).

El forraje de *Leucaena leucocephala* cv Cunningham es 3 veces más rico en proteína, con 22.3 a 30 % (Rivera *et al.*, 2015), que las gramíneas tropicales, además tiene bajo contenido de fibra con valores máximos que no superan el 41 % de fibra detergente neutro (FDN) y de 30 % de fibra detergente ácido (FDA) (Barahona *et al.*, 2014). Investigaciones de los SSP en Colombia de este arbusto con pastos tropicales (*Cynodon plectostachyus* y *Megathyrsus maximus*) han registrado producciones de biomasa forrajera (*leucaena* y gramíneas) en un rango de 15.6 a 19.2 t de materia seca (MS) ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. En estos trabajos se concluyó que la leguminosa contribuye con el 25 % de la dieta total consumida, lo que favorece en la dieta del animal aumento de 25 % en PC y disminución de 15 % en el contenido de FDN y 16 % en la FDA, así como aumento de 30 % en calcio (Rivera *et al.*, 2015). Esto permite alcanzar cargas animales que oscilan según la región y el clima entre 2.0 y 4.5 UA (unidad animal: 450 kg de peso vivo) superiores al pastoreo continuo en sabanas (5 veces) o en pastos seleccionados sin fertilización (dos a tres veces) y cercanas o iguales a las que se logran con riego y fertilización de gramíneas tropicales (Murgueitio *et al.*, 2015).

### **2.5.2 Establecimiento y desarrollo de *Leucaena leucocephala***

Para el establecimiento de *L. leucocephala* se deben considerar las condiciones climáticas de la región, siendo recomendable establecerla al inicio del periodo de lluvias. Los niveles de humedad en el suelo es uno factores más críticos del establecimiento del guaje ya que de ello dependerá el máximo crecimiento de la planta. El estrés por agua puede reducir la nodulación y en consecuencia la fijación de nitrógeno y el crecimiento.

Cuando no se tiene sistema de riego deben las plantas en vivero en los meses de marzo y abril para transplantar al inicio de la época de lluvias.

La semilla de guaje presenta cubierta impermeable por lo que se debe escarificar la semilla antes de iniciar la siembra, lo cual se lleva a cabo remojándola en agua a 80 °C por dos o tres minutos con la finalidad de permitir la entrada del agua a la semilla. La inoculación de la semilla con *Rhizobium* o Micorrizas se ha recomendado como un promotor de la germinación.

Hoy en día la producción de plantas forrajeras de alta calidad sin el uso de fertilizantes sintéticos y haciendo un uso eficiente del agua, es una necesidad en áreas donde la alimentación de recursos naturales es alarmante, por ello la aplicación de abonos orgánicos como el vermicompost es una alternativa válida en la producción de plantas forrajeras (Salazar *et al.*, 2009).

## **2.6 Uso del vermicompost para el establecimiento de *Leucaena***

El estiércol derivado de la cría de ganado es un abono orgánico usado con frecuencia, sin embargo, la forma de aplicación a los suelos agrícolas es indiscriminada e inapropiada y pueden causar serios problemas ambientales como translocación de microorganismos patógenos y semillas de maleza, sales inorgánicas e incluso trazas de metales pesados (Fernández *et al.*, 2008; Lazcano *et al.*, 2008); de la misma manera pueden causar un impacto negativo en el ambiente como malos olores, emisiones de gases, y contaminación del suelo y agua (Bernal *et al.*, 2009). Los estiércoles frescos pueden convertirse en un problema de salud pública si no se someten a un proceso de

estabilización adecuado para evitar que contaminen el suelo y el agua (Aira y Domínguez, 2009).

El uso de la vermicomposta forma parte de la agricultura orgánica actual; este tipo de abono se caracteriza por mejorar las propiedades físicas del suelo, aportar hormonas que ayudan al crecimiento vegetal (Morales *et al.*, 2009), aumento en la actividad enzimática del suelo desde el punto de vista biológico (Marschner *et al.*, 2003) y un aumento en la tasa de evolución de CO<sub>2</sub> en el suelo (Ajwa y Tabatabai, 1994). En sistemas agrícolas degradados por sales, la utilización de la vermicomposta como alternativa podría ayudar a reducir los problemas asociados con el uso de fertilizantes inorgánicos tradicionales, los cuales causan pérdidas excesivas de nutrientes por lavado del suelo y por el estrés a las plantas inducido por la salinidad del suelo. Además, la vermicomposta puede mejorar la porosidad de suelos con textura gruesa y, por consiguiente, suministrar un mejor medio de crecimiento para las raíces (Chaoui *et al.*, 2003).

## **2.7 Producción de carne en SSP**

El cultivo de un SSP, presenta múltiples bondades desde el punto de vista bromatológico, ecológico, y económico frente a los sistemas tradicionales cuando ambos se utilizan en la alimentación de ganado. El SSP produce 12 veces más carne que el pastoreo extensivo y 4.5 veces más que los pastos mejorados sin árboles. Para producir 10,000 t de carne se requieren casi 150,000 h de tierra en pastoreo extensivo, que además tienen un balance negativo de emisiones de CO<sub>2</sub> eq (más de 48.000 t). Por el contrario si la misma cantidad de carne se produce con SSP se requieren tan solo algo más de 12,000 h que además dan un balance de emisiones de GEI positivo en más de tres mil toneladas reducidas de CO<sub>2</sub> eq. Los SSP mantienen la humedad del suelo, reducen las altas

temperaturas ambientales en los potreros y mejoran la productividad y calidad de los forrajes, además de reducir la estacionalidad de la producción de carne y leche (González y Alcaraz, 2013).

### **2.7.1 Características y calidad de la canal ovina**

El futuro de la carne de ovino es bastante promisorio ya que durante las últimas décadas su precio se ha mantenido en constante aumento. La canal es fundamental para las distintas actividades en las que se basa el mejoramiento genético: su calidad es la primera medida del producto y sirve como pauta para la selección y el mejoramiento animal. Así, la canal es el centro de atención del comercio y de los propósitos de los productores, pues es una norma útil y definida en la conversión del animal a carne (Gallo, 1992). En el mercado de carne actual hay alta demanda de carne magra (criterio utilizado por la mayoría de los consumidores para definir la calidad). La proporción de carne magra en la canal de un cordero es la primera determinante del valor y del rendimiento comercial; asimismo, esto tiene importancia en términos de eficiencia productiva, pues se requiere mucho más energía para producir un kilo de grasa que un kilo de músculo. La clasificación de las canales ovinas según su calidad se basa en dos aspectos principales:

1. características cuantitativas: entre ellas se incluyen el peso de la canal, la composición física (porcentaje de hueso, músculo y grasa) de la canal y la distribución de los tejidos (porcentaje de músculo) en la canal.
2. características cualitativas: son las características organolépticas de la carne. Pueden ser visuales (color, forma, presentación), de sabor, aroma, jugosidad y



textura entre otras. Estas se relacionan con la composición química del músculo (Domínguez *et al.*, 1995).

### **2.7.2 Calidad de carne ovina en SSP**

El efecto del cambio climático producto de la inadecuada administración de los recursos naturales y el incremento de enfermedades causadas por el sobrepeso y la obesidad que se registran en el mundo han ocasionado cambios en el estilo de vida, demanda y tipos de alimento para el consumo humano (Hodges, 2003). Los consumidores de carnes rojas buscan productos nutritivos, saludables y bajos en grasas saturadas (Muchenje *et al.*, 2009). Estas demandas a su vez se reflejan en cambios en la ganadería que está reorientando sus sistemas de producción y engorda mediante el desarrollo y la práctica de sistemas de producción sustentable para la obtención de carne a bajo costo y con el contenido de nutrientes y la calidad que demanda el consumidor (Hodges, 2003). En esta dinámica de producción se ubican los productores de los SSP que desarrollan una ganadería sustentable cuyo propósito es incrementar la disponibilidad y calidad de forrajes utilizados para la producción de carne a bajo costo y abatir el rezago social mediante el fortalecimiento de la cadena de valor de cada sistema productivo.

Se ha documentado que la carne que producen los animales engordados con dietas a base de forrajes verdes, es benéfica para la salud por la concentración de ácidos grasos mono y poli insaturados de la grasa intramuscular de la carne (Orellana *et al.*, 2009). Se conoce que el ácido oleico ayuda a la reducción de la concentración de colesterol de baja densidad en el plasma sanguíneo humano, lo que disminuye el riesgo del padecimiento

de enfermedades cardiovasculares (Padre *et al.*, 2006), y los ácidos conocidos por como omegas 3 y 6 son benéficos para la salud y el desarrollo humano (Muchenje *et al.*, 2009).

### III. JUSTIFICACIÓN

En la mayoría de los sistemas ganaderos tropicales, los bajos niveles de productividad y competitividad se generan como consecuencia del agotamiento de los recursos naturales, exacerbado además por el cambio climático, por lo tanto es necesario un cambio de estrategia en el manejo de la ganadería hacia sistemas más sostenibles como la integración de los sistemas agroforestales y pecuarios. El establecimiento de SSP responde a esta necesidad de reconvertir la ganadería en una actividad rentable, generadora de bienes y productos saludables e ino cuos demandados por la población (carne, leche, maderas, frutas, pieles, etc.) atendiendo al bienestar animal; a su vez, los SSP son sostenibles porque aumentan la producción ganadera a través de mayor oferta de biomasa forrajera, disminuyen las emisiones de GEI y promueven una mejor productividad por animal.

La asociación de *L. leucocephala* var. Cunningham con gramíneas dentro de los SSP son actualmente una alternativa para la producción ovina debido a que proveen una dieta rica en nutrientes, constituyendo una opción viable por la incorporación de todos los componentes del sistema, sin dejar a un lado los múltiples servicios ambientales que se consiguen con esta asociaciones.

El implementar prácticas de tipo agroforestal como el silvopastoreo permite desarrollar sistemas de producción ovina más racionales que atenten menos contra el equilibrio ecológico y que incluso mejoren el comportamiento animal (ganancia de peso, carne más magra, etc.), la calidad de los productos y la rentabilidad mediante el mejoramiento de la dieta de los animales.

#### **IV. HIPÓTESIS**

La combinación de las especies forrajeras *Brachiaria* sp y *Leucaena leucocephala* var. Cunningham, establecidas en una pradera bajo un sistema silvopastoril en el sur del Estado de México, fertilizada con vermicomposta de *Eisenia fetida* mejora la producción y calidad nutrimental del forraje, así como el crecimiento, características de la canal y calidad de la carne de corderos de pelo en finalización.

## V. OBJETIVOS

### 5.1. Objetivo general

Establecer y evaluar el potencial forrajero de una pradera combinada de *Brachiaria* sp. con *Leucaena leucocephala* var. Cunningham, usando como fertilizante del suelo vermicomposta, en un sistema silvopastoril con ovinos de pelo en finalización en el Sur del Estado de México.

### 5.2 Objetivos específicos

- Determinar las características físicas y químicas del suelo antes y después de establecer la pradera mixta (gramíneas y *Leucaena*).
- Elaborar y evaluar las características físicas y químicas de la vermicomposta a base de estiércol de especies pecuarias de la región del Sur del Estado de México.
- Evaluar el uso de la vermicomposta como fertilizante en la dinámica de crecimiento de *L. leucocephala* durante su establecimiento y producción.
- Evaluar la producción y valor nutritivo del forraje del SSP (pasto-*Leucaena*)
- Evaluar las características de la canal y la calidad de la carne de ovinos de pelo finalizados en un SSP pastoreando una pradera mixta de pasto con *Leucaena l.*

## **VI. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **6.1. Zona de estudio**

El trabajo de campo se llevó a cabo en el Rancho “El Salitre” del Centro Universitario UAEM-Temascaltepec, ubicado en San Simón de Guerrero, Estado de México (100°6′27″O, 19°2′8″N, 1800 m de altitud; el clima es templado subhúmedo con lluvias en verano tipo (Cw); INEGI, 2009).

Los análisis de suelo se llevaron a cabo en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas; los análisis de carne en el laboratorio de Ciencia y Tecnología de la Carne y dietas en el laboratorio de bromatología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México y los análisis de composta y vermicomposta en el laboratorio particular Phytomonitor S.A. de C.V. ubicado en Culiacán, Sinaloa.

El estudio se dividió en tres etapas.

### **6.2 Etapa 1**

**Elaboración y caracterización física, química y microbiológica de la vermicomposta.**

El proceso de vermicompostaje se realizó en cuatro vermireactores, cuyas medidas fueron 2.5 m longitud x 1.0 m ancho x 0.90 m alto, construidos a base de cemento, que contenían una estable y activa población de lombriz de la especie *Eisenia fetida*. En cada reactor se colocaron 60 kg (pesados en una báscula línea industrial Nuevo León) de sustrato “alimento”, obtenido del compostaje de estiércol de caprino, equino, bovino y ovino, de 45 d de maduración, que soportaba una densidad de población de 250 g de lombrices por kg de sustrato en la superficie (Lazcano *et al.*, 2008).

En los vermireactores, durante el proceso, la humedad del sustrato se mantuvo a 80 % (medida con analizador de humedad para suelo marca Kelway), agregando agua potable. Además, se midió la temperatura del sustrato una vez por semana, utilizando un termómetro de carátula para composta y suelo marca TFA.

Una vez que el estiércol compostado fue consumido por la lombriz (60 d), se colectaron, de la parte superior de los reactores, dos muestras homogéneas de 250 g de excreta o turrículos de la lombriz, las cuales se colocaron en bolsas de plástico de cierre hermético (Ziploc®), previamente etiquetadas; las muestras fueron refrigeradas en cajas térmicas con bolsas de gel congeladas y enviadas al laboratorio para su análisis.

Los análisis físicos y químicos se llevaron a cabo de acuerdo a la norma NMX-FF-109-SCFI-2008; cada muestra se analizó por triplicado; las variables medidas fueron pH (potenciómetro: mediante uso de electrodo en suspensión acuosa), conductividad eléctrica (conductímetro: mediante uso de electrodo en suspensión acuosa), densidad (peso del humus seco en g entre el volumen de humus en  $\text{cm}^3$ ), humedad (método gravimétrico: diferencia de peso entre la muestra húmeda y la muestra seca), cenizas (%), calcinación de la muestra en mufla a  $550^\circ\text{C}$  por dos horas), materia orgánica, MO (100-% de cenizas), carbono orgánico (% de MO entre factor 1.724), relación carbono/nitrógeno (porcentaje de carbono orgánico entre el porcentaje de nitrógeno total), nitrógeno total (método Microkjedahl). El fósforo (P) por procedimiento de Olsen. El calcio (Ca) por el método del jabón según Serrato y Landeros (2001). El sodio (Na) y el potasio (K) por el método del Flamómetro. El hierro, zinc, cobre y manganeso por (digestión) absorción atómica (lámpara catiónica hueco) y el Boro por el método Azomethine-H (colorimétrico).

El análisis microbiológico (contenido de bacterias aeróbicas, anaeróbicas, nitrificantes, *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus* spp.) se realizó a través de un aislamiento en medio BK y en medio ELMAR; hongos (*Trichoderma* sp y *Aspergillus* sp) por aislamiento en medio PDA y PDA-AL y actinomicetos por agar nutritivo. La identificación de las diferentes especies se realizó mediante la observación morfológica, tinciones y exposición a la luz UV.

### **6.3 Etapa 2**

Establecimiento de la pradera en el SSP

El establecimiento de la pradera a base de *Leucaena leucocephala* var. Cunningham se realizó de octubre 2015 a agosto 2016 en dos parcelas sembradas con *Brachiaria* (hibrido: Mulato II, *Brachiaria brizantha*, *Panicum máximum* cv. y Mombasa) sembradas en el año 2012 en el Rancho del Centro Universitario. La superficie de la parcela 1 fue de 2,400 m<sup>2</sup> y la de la parcela 2 de 1,978 m<sup>2</sup>.

#### **Manejo y siembra de *Leucaena***

La semilla de *Leucaena leucocephala* var. Cunningham previo al momento de la siembra se escarificó sumergiéndola en agua caliente (80 °C) durante cinco minutos, posteriormente se escurrieron y se colocaron tres semillas por cada bolsa de polietileno de color negro (33 x 27 cm) que contenía 1 kg de sustrato (40% de vermicomposta y 60% de material de mantillo de bosque de *Quercus*). Cuando la planta alcanzó 20 cm de altura (aproximadamente 60 días después de presentarse la germinación) se trasplantaron 1,500 plantas, en la parcela 1, formando 15 hileras (20 m de largo x 1.20 m de ancho) con 100 plantas por hilera, y en la parcela 2, 1,200 plantas formando 12 hileras (20 m de largo x 1.20 m de ancho). En cada hilera la distancia entre plantas fue de 20 cm. Cada



planta, después del trasplante, se abonó con 100 g de vermicomposta, cada 15 días durante 6 meses, colocándola en la base del tallo. Las praderas fueron irrigadas por gravedad, utilizando agua de un bordo natural de almacenamiento cercano a las praderas. El trasplante de la *Leucaena* se realizó en los meses de octubre y noviembre de 2015.

### **Muestreo de los componentes de SSP: suelo**

Se colectaron 5 muestras de suelo al inicio y final del establecimiento del SSP, las cuales se seleccionaron al azar y se tomaron a 20 cm de profundidad. En el laboratorio se secaron a temperatura ambiente, se molieron, tamizaron y colocaron en frascos sellados para su posterior análisis. Se analizó el pH (potenciómetro: mediante uso de electrodo en suspensión acuosa), textura (triángulo FAO de texturas por su contenido de arcillas), densidad aparente (picnómetro), CIC (cationes intercambiables: centrifugado y titulación con EDTA), materia orgánica (100- %cenizas), % carbono orgánico (mediante ecuación  $C = \% MO / 1.724$ ), nitrógeno total (método microkjedahl), fósforo (método Morgan: acidificación de la muestra para obtener coloración azul, presencia de fósforo), potasio, hierro, zinc, cobre, manganeso y boro (digestión atómica: mineralización de componentes orgánicos).

## **6.4 Etapa 3**

### **Animales y manejo**

Se utilizaron 30 corderos (Dorper x Katadhin) de  $20 \pm 1$  kg, durante los meses de noviembre 2016 a enero 2017 (90 d). Una semana antes de la fase experimental, cada ovinos se identificó con un arete numerado, se vacunaron para prevenir enfermedades por *Clostridium* y *Pasteurella*, se desparasitaron con Ivermectina/Clorsurol (1 ml por cada

50 kg de peso vivo) y se les aplicó vitamina A, D, E y complejo B (2 a 3 ml). Posteriormente cada ovino fue pesado y se distribuyó al azar en cada tratamiento (T1 15 ovinos en corral y T2 15 ovinos en el sistema silvopastoril).

### **Manejo de los ovinos en el SSP**

Cada parcela se dividió en cuatro potreros para el manejo de pastoreo, los corderos del T2 pastorearon diariamente 8 h a partir de las 8:00 A.M y se rotaron en cada potrero de acuerdo a la disponibilidad de forraje. Los corderos se pesaron cada semana utilizando una báscula industrial, previo ayuno de 8 h. Los ovinos del T2 pastorearon diariamente durante 8 h a partir de las 8:00 A.M. En cada potrero había disponible agua a libre acceso. Para determinar la ganancia diaria de peso (GDP) de los animales eran pesados cada semana con 12 horas de ayuno previo.

El consumo de materia seca (CMS) fue medido al inicio del experimento (30 d) y al final del experimento (60 d), utilizando 1 g de marcador externo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) el cual se proporcionó durante un periodo de adaptación de 7 d y en los 5 d posteriores se tomaron muestras de heces directamente del recto a las 0800 y 1600 h. Las muestras de heces de cada animal eran colocadas en bolsas previamente identificadas (número de animal y tratamiento) y al final las muestras se agruparon y homogenizaron formando una muestra compuesta por animal y por tratamiento. Las muestras se secaron en una estufa de aire forzado a  $60^\circ\text{C}$  por 24 h y se molieron en un molino Thomas Willey utilizando una malla de 1mm. El  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  en heces se determinó por espectrofotometría (modelo GENESYS 10S UV-VIS, Thermo scientific) a 430 nM tras la calcinación de la muestra a  $450^\circ\text{C}$  por 12 h (Fenton y Fenton, 1979).

A partir de los resultados obtenidos se estimó la producción fecal en  $\text{g MS d}^{-1}$ , que se obtiene a partir del cociente de la dosis del marcador dividido por la concentración del

marcador en las heces. Posteriormente se determina el consumo en función de la producción fecal y la Digestibilidad *in vitro* con las fórmulas propuestas por Ramírez *et al.* (2000).

### **Manejo de los ovinos alimentados en corral**

Los ovinos del T1 se alojaron en corrales donde consumieron a libre acceso una dieta balanceada con 2.6 Mcal/ kg de MS y 14 % de PC, elaborada con 10 % de maíz molido, 20 % de sorgo molido, 20 % de sorgo entero, 5 % de maíz quebrado, 15 % de soya, 8 % de salvado, 20 % de rastrojo de maíz molido y 2 % de una premezcla de vitaminas y minerales NUTRIBASE.

### **Sacrificio y características de la canal**

Al final del experimento todos los ovinos de cada tratamiento fueron transportados y sacrificados en un obrador de carne ubicado en el municipio de Capulhuac, Estado de México. Los animales se pesaron antes del sacrificio (PVS) y después del sacrificio para obtener el peso de la canal caliente (PCC) y su rendimiento (RCC), posteriormente, las canales fueron refrigeradas a 4°C durante 24 h y se pesaron para obtener el peso de la canal fría (PCF).

En la canal fría se tomaron las medidas morfométricas de longitud y ancho, empleando una cinta métrica y un Vernier; posteriormente, se realizó un corte transversal en el musculo *Longissimus dorsi*, del lado izquierdo de la canal, entre las costillas 12<sup>a</sup> y 13<sup>a</sup> para medir el espesor de la grasa dorsal (mm) utilizando un Vernier. También se determinó en laboratorio el área del *Longissimus dorsi* con un planímetro (Planix7 TAMAYA).

### **Análisis de calidad y composición química de la carne**

Para el análisis de la calidad y composición química de la carne se utilizaron muestras (50 g) del *Longissimus dorsi* del lado izquierdo de cada canal fría, las cuales se empacaron

en bolsas de cierre hermético y congelaron (-20 °C) para su posterior análisis químico proximal (contenido de MS, cenizas, proteína y grasa fueron determinadas en función de la AOAC, 2007).

La fuerza de corte se determinó con cuchilla Warner Bratzler; la pérdida por cocción se midió por métodos gravimétricos (AMSA, 1995). El color de la carne se midió con un colorímetro (Minolta Chroma Meter CR-200). El pH se midió con un potenciómetro equipado con un electrodo de penetración (modelo HANNA HI 99163).

## **6.5 Análisis estadísticos**

Etapa 1. Las variables de composición física y química se analizaron un ANDEVA donde los tratamientos fueron los tipos de vermicompost. Se empleó el comando del modelo general lineal (GLM) del programa MINITAB reléase 12.21, y para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey ( $P<0.05$ ). Las variables microbiológicas fueron analizadas con estadística descriptiva (Senthil *et al.*, 2013). Los datos registrados en porcentajes fueron transformados a través de la función arcoseno para normalizar la distribución de los datos y estabilizar las varianzas.

Etapa 2. En esta etapa para el análisis estadístico de las variables de altura, cobertura aérea, número de brotes se utilizó un diseño completamente al azar a través de un ANOVA con el modelo general lineal utilizando el comando de MINITAB reléase 12.21 con mediciones repetidas a través del tiempo (0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 días). La comparación de medias se realizó con una prueba de Tukey ( $P<0.05$ ).

Etapa 3. Para la tercera etapa se utilizó un diseño completamente al azar para GDP y CMS, y se analizaron con PROC MIXED, además, se realizaron LSMESTIMATE y CONTRAST, los ovinos fueron considerados sujetos aleatorios con estructura de

covarianza TOEP y método de estimación REML1. Las características morfométricas y de calidad de la carne se analizaron a través de PROC GLM (SAS Institute Inc. 2004) y la comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).

## VII. RESULTADOS

En este capítulo se presenta el artículo enviado a la revista AGROCIENCIA; se incluye la carta de aceptación del artículo y el capítulo de libro correspondiente a la etapa 1 y un artículo en revisión de la etapa 3.



Editorial del Colegio de Postgraduados

Agrociencia  
16 de mayo de 2018

**Dra. Francisca Avilés Nova**  
Centro Universitario UAEM Temascaltepec  
Universidad Autónoma del Estado de México  
**Presente**

Me es grato informarle que la contribución anexa con clave: 17-172 de la cual usted es autora responsable, está aceptada para publicarla en Agrociencia; por tanto, nuestros editores han revisado la versión más reciente y le han dado el formato adecuado. Por separado se indican observaciones específicas que requieren la especial atención de usted.

Le agradeceré que atienda las observaciones indicadas (**de haberlas**) (se anexa versión editada por el Director de Agrociencia) y nos remita la información requerida en un plazo no mayor de **10 días** a partir de la fecha de recepción, así como el formato de certificación de inédito en el que se indica que usted está de acuerdo con el contenido de dicha contribución y acepta que se publique en Agrociencia. De ser necesario, en el archivo PDF podrá marcar lo que a su juicio sean errores ortográficos o tipográficos en la versión formateada, pero sin incorporar nuevo texto, pues de hacerlo, podría obligar a enviar nuevamente la información a los árbitros y se retrasaría la publicación final.

Con gusto atenderé cualquier duda que surja al respecto.



El Director de Agrociencia  
Sergio S. González Muñoz Ph.D.

### CERTIFICACIÓN DE INÉDITO

La suscrita, Francisca Avilés Nova, autora responsable de la contribución anexa, clave: 17-172 intitulada: PROPIEDADES QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DEL ESTIÉRCOL DE CAPRINO DURANTE EL COMPOSTAJE Y VERMICOMPOSTAJE, manifiesta que la información es totalmente inédita, y que todos los coautores (de haberlos) están de acuerdo con el contenido y el formato de la misma, y acepta publicarla.

La Autora

*P.S. Favor de revisar minuciosamente el texto formateado para detectar errores mecanográficos, ortográficos, datos erróneos, años equivocados, y demás detalles.*

• Oficina Central - Guerrero # 9, Esquina Avenida Hidalgo -  
• 56251, San Luis Huastola, Tezcuco, Estado de México -  
• 01(595) 928-4427 • 01(595) 928-4013 •

• Colegio de Postgraduados - Campus Manizcillo - Estadística -  
• Carretera México-Tezcuco, Km. 36.5, 56230, Manizcillo -  
• Tezcuco, Estado de México •

• Apartado Postal 199, 56100, Tezcuco -  
• Apartado Postal 56, 56230, Chapingo -  
• editor@agropost.com.mx •

**PROPIEDADES QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DEL ESTIÉRCOL DE CAPRINO  
DURANTE EL COMPOSTAJE Y VERMICOMPOSTAJE  
CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL PROPERTIES OF GOAT MANURE DURING  
THE COMPOSTING AND VERMICOMPOSTING**

Colín Navarro Vianey<sup>1</sup>, Domínguez Vara Ignacio Arturo<sup>2</sup>, Olivares Pérez Jaime<sup>3</sup>, Octavio A  
Castelán Ortega<sup>2</sup>, Anastacio García Martínez<sup>1</sup> Avilés Nova Francisca\*<sup>1</sup>

**RESUMEN**

El estiércol caprino se produce en grandes cantidades y su almacenamiento y/o la dispersión de este residuo en el suelo pueden causar contaminación de la atmósfera y el agua, por lo que es necesario someterlo a procesos de estabilización para su uso agronómico. El vermicompost presenta características químicas y microbiológicas que lo hacen biológicamente más estable y por lo tanto adecuado para su uso como fertilizante orgánico. El objetivo del estudio fue comparar los cambios en las propiedades químicas y microbiológicas del estiércol de caprino durante el compostaje y vermicompostaje, para la estabilización biológica. El estiércol se recolectó en los corrales del módulo de caprinos del Rancho del Centro Universitario UAEM Temascaltepec, México. El estiércol se composteo por 45 d en pilas cónicas de 300 kg. El vermicompostaje con *Eisenia fetida* duró 60 d; al final de los procesos se tomaron muestras para su análisis químico y microbiológico. En los sustratos se monitoreó la temperatura y se mantuvieron con 80 % de humedad. El diseño experimental fue completamente al azar, con dos tratamientos (T1: compost estiércol caprino, T2: vermicompost estiércol caprino) con seis repeticiones cada uno. Se aplicó ANDEVA de una vía a los datos y las variables microbiológicas se analizaron con estadística descriptiva. Las variables pH, materia orgánica (MO), carbono orgánico (CO) y nitrógeno total (NT) entre los procesos, presentaron diferencias ( $p = 0.001$ ,  $p = 0.0001$ ,  $p = 0.0001$ ,  $p = 0.007$ , respectivamente). La CE y la relación C:N entre los proceso presentaron diferencias ( $p = 0.0001$ ,

p = 0.031) respectivamente. El contenido de Ca, Mg, P y Na disminuyó en el vermicompost (p = 0.0001). En el vermicompost se detectó contenido mayor de *Pseudomonas*, hongos (*Aspergillus*) y actinomicetes. Así, la estabilización biológica de estiércol caprino por compostaje es diferente al vermicompostaje en variables químicas y contenido microbiano.

**Palabras clave:** estiércol, vermicompostaje, compostaje, estabilización biológica, fertilizante.

## INTRODUCCIÓN

El estiércol caprino es un buen fertilizante orgánico para el suelo porque provee contenido alto de nutrientes para las plantas y es una alternativa de costo bajo. El estiércol fresco aplicado a los cultivos puede ser inapropiado (Carbajal y Mera, 2010) porque causa alteraciones al ambiente, como el aporte excesivo de metales (hierro, zinc, aluminio), sales inorgánicas, patógenos, pérdida y lavado de nutrientes del suelo por erosión y emisión de sulfuro de hidrógeno, amoníaco y otros gases tóxicos (Olivares *et al.*, 2012). Aira y Domínguez (2009) mencionan que en los estiércoles pecuarios frescos no se aplica un proceso adecuado para la estabilización, por lo que contaminan el suelo y el agua, convirtiéndose en un problema de salud pública.

El proceso de estabilización involucra la descomposición de los desechos orgánicos y evita que representen un riesgo, esto se refleja en una menor actividad microbiana y reducida concentración de compuestos lábiles (Benito *et al.*, 2003; Zambrano *et al.*; 2013). La estabilización reduce los problemas ambientales asociados con el manejo del estiércol, transformándolo en un material seguro, estable y adecuado para su aplicación al suelo (Yadav *et al.*, 2013).

El compostaje y el vermicompostaje son procesos utilizados para la estabilización biológica de los desechos orgánicos. En el compostaje, los microorganismos degradan la materia orgánica y la transforman en un producto útil para la propagación de plantas y el cultivo de hortalizas; en el vermicompostaje, lombrices de tierra como *Eisenia fetida* y la acción microbiana reducen el tiempo de degradación de la mo (Lazcano *et al.*, 2008). La lombriz actúa como un molino mecánico tritura



la MO, modifica sus características físicas y químicas por la reducción gradual de la relación C:N e incrementa el área superficial expuesta para los microorganismos del tracto digestivo (molleja y buche) haciéndola más favorable para la actividad microbiana y acelera la descomposición de la MO (Domínguez *et al.*, 1997; Lazcano *et al.*, 2008). La combinación del compostaje donde se sanitizan y eliminan los componentes tóxicos y el vermicompostaje donde se reduce el tamaño de las partículas y se incrementa la disponibilidad de nutrientes, es un camino para estabilizar los desechos orgánicos y obtener un producto adecuado para uso agrícola. (Ndegwa y Thompson, 2001). Las ventajas del vermicompostaje en la estabilización de distintos estiércoles pecuarios se ha evaluado (Lazcano *et al.*, 2008; Aira y Domínguez, 2009; Moreno *et al.*, 2014; Salinas *et al.*, 2014; Knopp *et al.*, 2015); pero, la eficacia de los dos procesos para estabilizar el estiércol caprino se desconoce. El objetivo del estudio fue comparar los cambios en las propiedades químicas y microbiológicas del estiércol de caprino durante el compostaje y vermicompostaje, para la estabilización biológica, reducir su potencial de contaminación y pueda usarse como fertilizante orgánico.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Origen del material y proceso de bioestabilización**

El compostaje y vermicompostaje se realizaron de enero a marzo de 2015 en el Rancho “El Salitre” del Centro Universitario UAEM-Temascaltepec, México, en el municipio de San Simón de Guerrero, Estado de México (100°6′27″O, 19°2′8″N, 1800 m de altitud, clima templado subhúmedo con lluvias en verano tipo (Cw); INEGI, 2009). El estiércol caprino, acumulado durante dos meses, mezclado con residuos de rastrojo de maíz (*Zea mays*) se recolectó del piso de los corrales del módulo de caprinos. La alimentación diaria de los caprinos se basó en pastoreo en gramíneas y arbustos nativos, además de un complemento de 250 g día<sup>-1</sup> por animal a base de rastrojo de maíz, sorgo (*Sorghum vulgare*) molido, maíz molido, pasta de soya (*Glycine max*) y

sales minerales (MULTISAL, contenido en 1000 g: Cu 600 mg; Fe 1920 mg; Mn 2066.46 mg; Co 6 mg; I 19.84 mg; Zn 3000.24 mg; Se 12 mg; P 59220 mg; Mg 2000.32 mg; Ca 281 mg; Na 703.20 mg; K 2439 mg).

### Proceso de compostaje

El estiércol caprino se pesó (300 kg) (báscula línea industrial, Nuevo León® S.A. de C.V. de Monterrey), se regó con agua potable suficiente para contar con 60 % de humedad (analizador de humedad para suelo Kelway®, EE.UU.). Posteriormente se formaron seis pilas cónicas de 50 kg cada una (0.6 m de altura y 0.8 m de diámetro en la base). En cada pila se colocaron horizontalmente seis tubos de policloruro de vinilo de 1 m de largo y 10 cm de diámetro para la aireación. A cada tubo se le realizaron tres perforaciones de 10 cm de diámetro separadas cada 15 cm utilizando un cuchillo caliente de acero, dejando un margen de 20 cm en cada extremo del tubo. De las pilas del sustrato orgánico mezclado se tomaron al azar dos muestras de 1 kg, las cuales se colocaron en bolsas de plástico de cierre hermético (Ziploc®) previamente etiquetadas, se depositaron en cajas térmicas con bolsas de gel congeladas y se enviaron al laboratorio para su análisis químico (Cuadro 1). Las pilas se acomodaron al aire libre bajo la sombra de árboles de pino (*Pinus spp*) sobre una película plástica de nylon.

**Cuadro 1. Características químicas de estiércol de caprino.**

Sustrato	
Variable	Estiércol caprino
pH	8.32
CE (dS m <sup>-1</sup> )	4.79
MO (%)	78.45
CO (%)	45.51
NT (%)	2.05
C:N	22.20
PO <sub>4</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	2.560

K (mg kg <sup>-1</sup> )	18.800
Mg (mg kg <sup>-1</sup> )	5.700
SO <sub>4</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	2.940
Ca (mg kg <sup>-1</sup> )	36.200
Na (mg kg <sup>-1</sup> )	7.300

CE: Conductividad eléctrica, MO: materia orgánica, CO: Carbono orgánico, NT: Nitrógeno total, PO<sub>4</sub>: Fosfatos, SO<sub>4</sub>: Sulfatos.

En las pilas durante el proceso de compostaje la humedad del sustrato se mantuvo al 60 % agregando agua potable. Así mismo se midió la temperatura del sustrato en tres sitios seleccionados al azar dos veces por semana durante las primeras tres semanas y una vez las semanas restantes, utilizando un termómetro de carátula para compost TFA®. La temperatura fue considerada el indicador final del proceso estabilizándose en 20 °C a los 45 d, valores cercanos a la temperatura medio ambiental. Posteriormente de cada pila se tomaron al azar dos muestras a una profundidad de 10 cm obteniendo dos sub muestras compuestas de un kg, las cuales se manejaron de manera similar a las muestras de estiércol y se enviaron al laboratorio para su análisis.

### **Proceso de vermicompostaje**

El proceso de vermicompostaje se realizó en cuatro vermireactores (2.5 m x 1.0 m x 0.90 m) de cemento, que contenían una estable y activa población de lombriz de *Eisenia fetida*. En cada reactor se colocó 60 kg (báscula línea industrial Nuevo León® S.A. de C.V., Monterrey) de alimento obtenido del compostaje del estiércol caprino de 45 d de maduración y soportaba una densidad de población de 250 g de lombrices por kg de sustrato en la superficie (Lazcano *et al.*, 2008).

En los vermireactores durante el proceso la humedad del sustrato se mantuvo al 80 % (analizador de humedad para suelo marca Kelway, ® EE.UU.) agregando agua potable. Así mismo se midió la temperatura del sustrato una vez a la semana, utilizando un termómetro de carátula para compost TFA®. Una vez que el estiércol compostado fue consumido por la lombriz (60 d), se

colectaron de la parte superior de los reactores dos muestras de 250 g de las excretas o turrículos de la lombriz, las cuales se manejaron de manera similar a las muestras de estiércol y compost y se enviaron al laboratorio para su análisis. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar; los tratamientos fueron T1: compost de estiércol de caprino y T2: vermicompost de estiércol caprino. En el compost las unidades experimentales fueron seis pilas y en el vermicopost fueron seis vermireactores. Cada pila y vermireactor se consideró una repetición.

### **Análisis químicos**

Los análisis químicos del estiércol, compost y vermicompost se realizaron en un laboratorio privado de Culiacán (Phytomonitor S.A. de C.V. de Sinaloa), de acuerdo con la NMX-FF-109-SCFI-2008, cada muestra se analizó por duplicado. El pH con un potenciómetro HANNA® Instruments 8521 (1:5), conductividad eléctrica (CE) ( $\text{dS m}^{-1}$ ) mediante conductivímetro Perkin Elmer® DR-3900 (1:5), materia orgánica (% MO) por diferencia de peso con % de cenizas ( $\text{MO} = 100 - \% \text{ cenizas}$ ), CO (% Co) % MO entre factor Van Benmelen ( $\text{CO} = \% \text{ MO}/1.724$ ), NT total (% NT) por método micro Kjeldahl, relación C:N % CO entre % NT ( $\text{C:N} = \% \text{ CO}/\% \text{ NT}$ ),  $\text{PO}_4$  ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) método Morgan y B ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) por método Azomethine-H,  $\text{SO}_4$  ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) por método turbidimétrico, K, Mg, Na, Ca, Fe, Zn, Cu, Mn ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) por absorción atómica L.C.H. (digestión) (Spectrometer Perkin Elmer® Analyst 400). Las variables químicas del estiércol y el compost se analizaron según la norma mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008.

### **Análisis microbiológico**

Los análisis microbiológicos del compost y vermicompost se realizaron según la norma mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008 en un laboratorio privado de Culiacán (Phytomonitor S.A. de C.V. de Sinaloa). En los productos del compostaje y vermicompostaje, para el conteo de bacterias (aeróbicas, anaeróbicas, nitrificantes y *Pseudomonas* sp) y hongos (*Aspergillus* sp.), cada muestra se centrifugó y se hizo una dilución seriada ( $10^{-5}$ ). Alícuotas de 100  $\mu\text{l}$  fueron diluidas en placas

del medio BK (bacilos de Koch) para identificar la presencia de micobacterias y en medio ELMAR; PDA (agar papa dextrosa) y PDA-AL, respectivamente para obtener colonias de hongos y bacterias. Las cajas petri fueron incubadas 3 d a 28 °C. Para la identificación de *Pseudomonas* sp., se utilizó agar cetrimide, las cajas petri fueron incubadas 48 h a 37 °C.

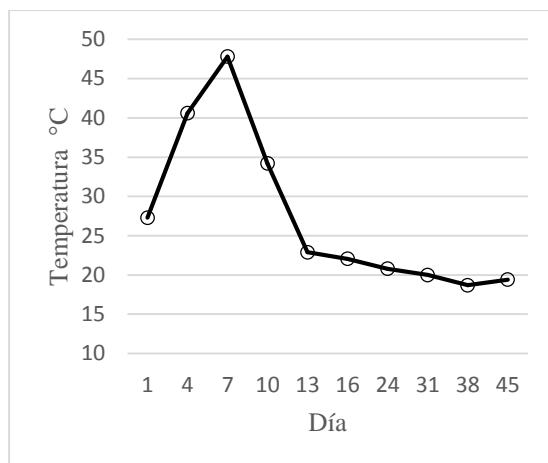
Para cuantificar actinomicetos la muestra fue homogeneizada, se añadió una solución amortiguadora, después se hicieron diluciones en serie y se incubaron 2 h a 28 °C. Las diluciones se sembraron en agar nutritivo y se incubaron 7 d a 30 °C (Knoop *et al.*, 2015). Las especies se identificaron mediante observación morfológica, tinciones y exposición a la luz UV.

### **Análisis estadístico**

En todas las variables de composición química se realizó un ANDEVA de una vía. Se utilizó el comando de MINITAB reléase 12.21 y la comparación de medias fue mediante la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Las variables microbiológicas fueron analizadas con estadística descriptiva (Senthil *et al.*, 2013). Los datos registrados en porcentajes fueron transformados a través de la función arcoseno para normalizar la distribución de los datos y estabilizar las varianzas.

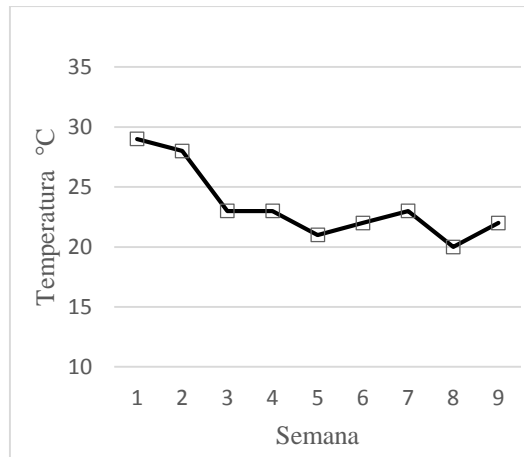
## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Las pilas del compost registraron mayor temperatura 40.6 y 47 °C (fase termófila) durante los días cuatro y siete respectivamente la cual descendió después del séptimo día hasta estabilizarse (Figura 1). Luo *et al.* (2014) indican que temperaturas mayores a 40 °C muestran que hay biodegradación activa de la mo y cuando la temperatura se reduce la mo entra a una fase de curación. Guo *et al.* (2012) indicaron que la tasa de aireación en el compostaje de heces de cerdo con paja de maíz tuvo diferencias ( $p = 0.023$ ) en los cambios de temperatura dando lugar a una mayor degradación de la mo por una menor retención de calor en las pilas.



**Figura 1. Evolución de la temperatura en las pilas de compost.**

La temperatura dentro del vermireactor presentó variaciones alcanzando una temperatura final de 22 °C (Figura 2). La variación de la temperatura durante el curso del compostaje y el vermicompostaje es el balance entre el calentamiento debido a las actividades de los microorganismos y de las lombrices, así como a las pérdidas probables debido a los intercambios con el exterior (Ruíz, 2012); así que un cambio en la temperatura del medio ambiente modifica la temperatura de las lombrices y su actividad degradativa (Ferrera y Alarcón, 2014). Los aumentos de temperatura en este estudio coinciden con lo encontrado por Senthil *et al.* (2013) quienes evaluaron la capacidad reproductiva de *E. fetida* durante el proceso de vermicompostaje y observaron temperaturas promedio de 23 °C, estos autores mencionan que el trabajo de la lombriz puede desarrollarse en un rango de temperaturas en los 20-29 °C durante el proceso, aunque un aumento de temperatura en la etapa final puede atribuirse a una mayor actividad reproductiva de la lombriz, ya que al aumentar su biomasa requiere de mayores temperaturas.



**Figura 2. Evolución de la temperatura en los vermireactores.**

El pH del compost (8.8) fue diferente ( $p = 0.001$ ) respecto al vermicompost (7.2) (Cuadro 2). Los valores alcalinos en el pH del compostaje resultan de la producción amoniacal y de la liberación de bases (Ruíz, 2012). Yadav *et al.* (2013) sugieren que los cambios en el pH en el vermicompostaje pueden atribuirse a la producción de  $\text{CO}_2$ , amoníaco,  $\text{NO}_3$  y ácidos orgánicos durante el proceso derivado del trabajo realizado por las lombrices. Los resultados encontrados en este trabajo son similares a los encontrados por Yadav *et al.* (2013) con valores de pH de 7.4 en vermicompost de estiércol de bovino, relacionándolo con la función de las glándulas calcíferas localizadas alrededor del esófago de las lombrices que secretan carbonato cálcico y producen una digestión alcalina, dando lugar a valores de pH ligeramente alcalinos; de forma similar Ullah *et al.* (2015) encontraron valores de pH de 7.4 en vermicompost de estiércol de granja. Ndegwa *et al.* (2000) sugieren que las variaciones en el valor del pH se pueden atribuir a la mineralización de nitrógeno y fósforo en nitritos, nitratos y ortofosfatos, así como a la bioconversión de la mo en especies intermedias de ácidos orgánicos, dando lugar a un vermicompost biológicamente estable.

La CE presentó diferencias ( $p = 0.0001$ ) entre compostaje y vermicompostaje, resultando al final un aumento en el contenido de sales en el vermicompostaje. Cáceres *et al.* (2006) observaron aumento en la CE al final del proceso de compostaje de la fracción sólida de estiércol de bovino,

sin embargo sus valores fueron menores (3 a 5 dS cm<sup>-1</sup>) a los encontrados en este trabajo (5.8 dS m<sup>-1</sup>) esto podría atribuirse al complemento alimenticio suministrado a los caprinos, el cual contenía una premezcla de vitaminas y minerales; se ha observado que durante el compostaje, al avanzar la mineralización de la MO se incrementa la concentración de sales solubles. El valor de la CE en el vermicompost (8.5 dS m<sup>-1</sup>) encontrado en este trabajo es diferente a lo observado por Deka *et al.* (2011) y Galindo *et al.* (2014) quienes reportan valores menores en la vermicompost (6.21 dS m<sup>-1</sup>, 3.21 dS m<sup>-1</sup> y 4.2 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente), atribuyéndolo a un lavado de nutrientes (lixiviado) por un exceso de humedad; sin embargo, un probable aumento lo relacionan con la pérdida de peso de la MO y la liberación de diferentes sales minerales en forma disponible, como el fosfato, amonio y potasio.

La MO es otra de las variables importantes para considerar la estabilidad de un sustrato orgánico y que este pueda ser utilizado como enmienda orgánica (Castillo *et al.*, 2000). La MO en el vermicompost disminuyó respecto al contenido de MO del compost (40.5 y 72.2 % respectivamente) y presentó diferencias entre procesos ( $p = 0.0001$ ); un comportamiento similar indicaron Kulcu y Yaldiz (2007) en el compost de estiércol de caprino mezclado con paja (5, 10 y 15 %) teniendo un contenido inicial de MO de 71.87 % y final de 48.04 %. Ulle *et al.* (2004), indicaron comportamiento similar en el compostaje y vermicompostaje de estiércol fresco de bovino con un porcentaje de MO en el compost de 44.15 y en el vermicompost de 31.5. Al respecto, Castillo *et al.* (2000) mencionan que al alimentar a las lombrices, estas aceleran la descomposición de la MO y alteran las propiedades físicas y químicas de los materiales, provocando el vermicompostaje a través del cual la MO inestable es oxidada y estabilizada.



**Cuadro 2. Variables químicas del compost y vermicompost elaborados con estiércol caprino.**

Variable	Sustrato caprino			
	Compost	Vermicompost	p	EEM
pH	8.8a	7.2b	0.001	0.38
CE (dS m <sup>-1</sup> )	5.8b	8.5a	0.001	0.58
MO (%)	72.2 <sup>a</sup>	40.5b	0.001	9.50
CO (%)	41.9 <sup>a</sup>	20.1b	0.001	3.54
NT (%)	2.6 <sup>a</sup>	1.23b	0.001	0.33
C:N	15.9a	13.1b	0.031	0.51
Ca (mg kg <sup>-1</sup> )	27800a	969.0b	0.0001	3020.33
Mg (mg kg <sup>-1</sup> )	7100a	4062.5b	0.0001	676.48
P (mg kg <sup>-1</sup> )	8465a	302.1b	0.0001	1825.51
K (mg kg <sup>-1</sup> )	28950a	634.7b	0.082	244.88
Na (mg kg <sup>-1</sup> )	4125a	266.8b	0.0001	426.57

CE: Conductividad eléctrica, MO: materia orgánica, CO: Carbono orgánico, NT: Nitrógeno total, EEM: error estándar de la media. Literales distintas entre columnas presentan diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0.05$ ).

Los valores de CO y de NT en este estudio presentaron diferencias ( $p = 0.007$  y  $0.0001$ , respectivamente) entre procesos. El carbono proporciona la energía necesaria para las bacterias, hongos y actinomicetos que actúan en el proceso de vermicompostaje. Khwairakpam y Kalamdhad (2011) encontraron valores de 44.8, 41.1 y 38.4 % (a los 15, 30 y 45 d respectivamente) en el contenido de C total en una mezcla de residuos vegetales y estiércol bovino vermicomposteados, atribuyéndolo a la disminución de carbono entre los procesos y al aumento en la población de

lombrices que lo utilizan para llevar a cabo la oxidación de la MO; el valor de CO (41.1 %) es similar al encontrado en este trabajo.

En el vermicompost, los valores bajos en el contenido de carbono se pueden atribuir a que en la respiración microbiana se forma CO<sub>2</sub>, así como a la mineralización del carbono y a la actividad propia de las lombrices para estabilizar los residuos orgánicos (Nahrul *et al.*, 2010). Rotondo *et al.* (2009) indicaron valores similares de NT (1.5 %) en heces vermicomposteadas con lombriz *E. fetida*, mencionando que el N se encuentra en forma mineral y orgánica y que su contenido en el proceso de vermicompostaje tiende a disminuir por la transformación del N de su forma orgánica a la inorgánica por la acción de la lombriz. Otra variable relacionada con la estabilización biológica de los residuos orgánicos es la relación C:N que expresa las unidades de carbono por unidades de nitrógeno; si la relación es amplia los microorganismos tardan en degradar los residuos, pero si es baja hay una mineralización del N y este puede perderse en forma amoniacal (Garg *et al.*, 2005).

En el presente estudio la relación C:N presenta diferencia ( $p = 0.031$ ) entre el compost y el vermicompost. Costa *et al.* (2014) indicaron un contenido mayor en la relación C:N (34 y 28) en compost de estiércol de ovino con paja y estiércol de bovino; mientras que Yadav *et al.* (2013) encontraron valores menores a los reportados en este trabajo (9.58 y 13.7) en vermicompost de bovino, atribuyéndolo a una estabilización de los desechos cuando el C baja y el N aumenta durante el proceso del vermicompostaje. Lazcano *et al.* (2008) mencionan que la relación C:N explica el grado de descomposición de un desecho orgánico, en donde el C se pierde en forma de CO<sub>2</sub> durante la bioxidación, mientras que el N se pierde más lento al transformar la fracción orgánica a la inorgánica; ambos elementos relacionados ayudan a estabilizar de manera más rápida los residuos.

En este trabajo el contenido de Ca, Mg, P y Na disminuyó en el vermicompost. Según Domínguez y Pérez (2011), en el vermicompostaje una parte de los micronutrientes (Ca, Mg, Na) tiende a mineralizarse, lo cual explica la notable disminución (entre el 10 y el 55 %) al pasar del

sustrato composteado a vermicompost. La otra parte se humifica, polimeriza y policondensa, especialmente en la última fase del proceso; por ello se produce un incremento (entre 20-60 %) del producto final en los ácidos húmicos y fúlvicos.

Los principales microorganismos identificados en el compost y el vermicompost fueron bacterias (Unidades Formadoras de Colonias: UFC g<sup>-1</sup>), hongos y actinomicetes (propágulos g<sup>-1</sup>) (Cuadro 3). El vermicompost presentó mayor contenido de bacterias nitrificantes, *Pseudomonas fluorescences*, hongo (*Asperguillus* spp) y actinomicetes. Los resultados encontrados en este trabajo coinciden con lo reportado por Quintero (2014) quien encuentra una disminución de las poblaciones de bacterias entre el compostaje y el vermicompostaje de paja de avena molida (70.4 y 19.6 UFC g<sup>-1</sup> respectivamente) atribuyéndolo a las sustancias microbicidas existentes en el tracto de la lombriz, sin embargo, reportan un aumento significativo entre el número de hongos y actinomicetes presentes en el vermicompost (42.8 y 148.3, 1.4 UFC g<sup>-1</sup> respectivamente) atribuido a que estos microorganismos pueden sobrevivir al proceso digestivo enzimático de la lombriz y a que se reproducen rápidamente e incrementan su número, debido a la adición de agua, moco y CaCO<sub>3</sub>. Asimismo los actinomicetos contribuyen en el proceso de humificación, acompañados por la formación de sustancias oscuras, descomposición de compuestos húmicos y síntesis de material celular que promueve o contribuye a la formación de MO.

**Cuadro 3. Contenido microbiológico en el compost y vermicompost elaborado con estiércol de caprino.**

Microorganismo	Compost	Vermicompost
	Bacterias (UFC g <sup>-1</sup> de muestra)	
Aerobias	69,600,000	20,133,333
Anaerobias	3, 100,000	2,766,667
Nitrificantes	1,000,000	1,950,000
<i>Pseudomonas flourescentes</i>	0	166,667
	Hongos (propágulos g <sup>-1</sup> )	

<i>Aspergillus sp.</i>	333	1,333
	Actinomicetos (propágulos g <sup>-1</sup> )	
<i>Actinomicetes</i>	566,667	4,000,000
UFC: Unidades Formadoras de Colonias		

En el vermicompostaje las lombrices son un eficiente mecanismo de transporte de hongos micorrizicos, actinomicetes y bacterias fijadoras de vida libre y dispersión de microorganismos (Ferrera y Alarcón, 2014). La gran abundancia microbial del vermicompost viene dada principalmente por el proceso de elaboración, en donde los sustratos pasan a través del tracto digestivo de la lombriz, la cual posee una flora microbial que alcanza unos 500 mil millones de microorganismos. Adicionalmente, el proceso de vermicompostaje a diferencia del compostaje, no alcanza la etapa termófila, en donde usualmente hay muerte de una gran población de microorganismos y ocurre una selección de los mismos (Bollo, 2001). La NMX-FF-109-SCFI-2008 especifica que el producto final de la lombricomposta debe estar libre de bacterias (*Escherichia coli* y *Salmonella* spp) y hongos fitopatógenos, en este trabajo no se observó presencia de estos microorganismos. Duran y Henríquez (2006) documentaron la riqueza microbial del vermicompost sobre otros sustratos en lo que respecta a su actividad supresora de enfermedades en el suelo, y sus ventajas que están relacionadas con una mayor población de microorganismos benéficos; estos autores indican contenidos de bacterias, hongos y actinomicetos de 18, 000,000; 51, 000 y 2,200,000 (UFC g<sup>-1</sup>) respectivamente, en estiércol de bovino; estos resultados son menores a los obtenidos en el vermicompost en el presente trabajo. Pérez *et al.* (2008) encontraron poblaciones superiores de hongos y levaduras (19, 952.2 UFC g<sup>-1</sup>), *actinomyces* (1, 000 UFC g<sup>-1</sup>) y bacterias (5, 011, 872 UFC g<sup>-1</sup>), en el vermicompost respecto al compost del estiércol de cabras y ovinos, asociado a las temperaturas bajas en los vermireactores al ser cubiertos en la superficie, al tamaño de la partícula del sustrato y al contenido de azúcares que excreta la lombriz, lo cual favorece el incremento de la población microbiana.

Durante el vermicompostaje se producen cambios en la composición microbiológica del sustrato debido a la actividad de las lombrices, se incrementa la carga de microorganismos aportados por la biota biológica del interior de la lombriz, así como por los microorganismos presentes en el sustrato durante la biodegradación, de ahí que durante el proceso desaparecen microorganismos patógenos, debido a la adición de otros antagonistas (Mirabelli, 2008).

### **CONCLUSIONES**

Los tratamientos considerados (compostaje y vermicompostaje) mostraron diferencias importantes en la eficiencia en términos de la estabilización biológica del estiércol. Hubo claras diferencias en la composición microbiana y consecuentemente en el metabolismo degradante del compost y el vermicompost; además, las lombrices de tierra lograron modificar la actividad degradante del estiércol en un grado mucho mayor que en el compostaje, reduciendo con esto su grado de contaminación a la atmosfera y convirtiéndolo en un sustrato más adecuado para fines agronómicos.

### **LITERATURA CITADA**

- Aira, M. and J. Domínguez. 2009. Microbial and nutrient stabilization of two animal manures after the transit through the gut of the earthworm *Eisenia fetida* (Savigny, 1826). *J Hazard Mater.* 161: 1234-1238.
- Benito, M., A. Masaguer, A. Moliner, N. Arrigo, and R. Palma. 2003. Chemical and microbiological parameters for the characterization of the stability and maturity of pruning waste compost. *Biol. Fertil. Soil.* 37: 184-189.
- Bollo, E. 2001. *Lombricultura: Una Alternativa de Reciclaje*. Quito. Soboc Grafic. 149 p.
- Cáceres, R., X. Flotats, and O. Marfá. 2006. Changes in the chemical and physicochemical properties of the solid fraction of cattle slurry during composting using different aeration strategies. *Was. Man.* 26: 1081-1091.

- Carbajal, M. J. y B. A. Mera. 2010. Fertilización biológica: Técnicas de vanguardia para el desarrollo agrícola sostenible. *Prod. Limpia*. 5 (2): 76-96
- Castillo, A. E., S. H. Quarín, y M.C. Iglesias. 2000. Caracterización química y física de compost de lombrices elaboradas a partir de residuos orgánicos puros y combinados. *Agri. Tec. (Chile)*. 60(1): 74-79.
- Costa, M.S.S.M., T. Cestonaro, L.A.M. Costa, M.A.T. Rozatti, L.J. Carneiro, D.C. Pereira, and H.E.F. Lorin. 2014. Improving the nutrient content of sheep bedding compost by adding cattle manure. *J. of Clean. Prod.* XXX: 1-6.
- Deka, H., S. Deka, C. Baruah, J. Das, S. Hoque, H. Sarma, and N. S. Sarma. 2011. Vermicomposting potentiality of *Perionyx excavatus* for recycling of waste biomass of Java citronella - an aromatic oil yielding plant. *Bioresour Technol.* 102: 11212-11217.
- Domínguez, J., C. A. Edwards, and S. Subler. 1997. A comparison of composting and vermicomposting. *Bioc.* 4: 57-59.
- Domínguez, J. y D. Pérez-D. 2011. Gestión de residuos orgánicos de uso agrícola. Desarrollo y nuevas perspectivas del vermicompostaje. Servicio de Publicación e Intercambio Científico. Univ. Sant. de Com., Esp.
- Durán, L. y C. Henríquez. 2006. Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agro. Cost.* 31: 41-5.
- Ferrera, C. R. y A. Alarcón. 2014. Microbiología agrícola: Hongos, Bacterias, Micro y Macro fauna, control biológico y planta-microorganismo. México: Trillas. 568 p.
- Galindo, P. F., H. M. Fortis, R. P. Preciado, V. R. Trejo, C. M. A. Segura, y V. J. A. Orozco. 2014. Caracterización físico-química de sustratos orgánicos para producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo sistema protegido. *Rev. Mex. Cien. Agri.* 5(7): 1219-1232.

- Garg, V.K., S. Chand, A. Chillar, and A. Yadav. 2005. Growth and reproduction of *Eisenia foetida* in various animal wastes during vermicomposting. *App. Ecol. and Envir. Res.* 3(2): 51-59.
- Guo, R., G. Li, T. Jiang, F. Schuchardt, T. Chen, Y. Zhao, and Y. Shen. 2012. Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost. *Bioresour Technol.* 112: 171-178.
- INEGI (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos San Simón de Guerrero, México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Prontuario. México D.F. 9 pp.
- Khwairakpam, M. and A. S. Kalamdhad. 2011. Vermicomposting of vegetable wastes amended with cattle manure. *Res. J. of Chem. Sci.* 1(8): 49-56.
- Knopp, Z. V., N. G. Figueiredo, L. D. Lopes, e G. Shiedeck. 2015. Crescimento e reprodução de imnhocas em misturas de resíduos orgânicos e efeitos nas propriedades químicas e microbiológicas do húmus. *Inter.* 40(1): 57-62.
- Kulcu, R. and O. Yaldiz. 2004. Composting of goat manure and wheat straw using pine cones as a bulking agent. *Bioresour Technol.* 98: 2700-2704.
- Lazcano, C., B. M. Gómez, and J. Domínguez. 2008. Comparison of effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. *Chemo.* 72: 1013-1019.
- Luo, W.H., J. Yuan, Y.M. Luo, G.X. Li, L.D. Nghiem, and W.E. Price. 2014. Effects of mixing and covering with mature compost on gaseous emissions during composting. *Chemos.* 117: 14-19.
- Mirabelli, E. 2008. El compostaje proyectado a la lombricultura. Edit. Hemisferio Sur. p.324.

- Nieto, G. A., A. B. Murillo, G. P. Luna, D. E. Troyo, H. J. L. García, G. M. Aguilar, P. R. J. Holguin, M. J. Larrinaga. 2013. La composta: importancia, elaboración y uso agrícola. C.Inves. Biol. del Noroeste, México. Trillas 72 p.
- Moreno, R. A., G. L. García, R. P. Cano, C. V. Martínez, H. C. Márquez, y D. N. Rodríguez. 2014. Desarrollo del cultivo de melón (*Cucumis melo*) con vermicompost bajo condiciones de invernadero. Ecosist. y Rec. Agrop. 1(2): 163-173.
- Nahrul, H. Z., K.H.P.S. Abdul, M. Jawaid, I. M. Hakimi, and A. A. Astimar. 2010. Exploring chemical analysis of vermicompost of various oil palm fibre wastes. Envir. 30: 273-278.
- Ndegwa, P. M., S. A. Thompson, and K. C. Das. 2000. Effects of stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids. Bioresour Technol. 71: 5-12.
- Ndegwa, P. M. and S. A. Thompson. 2001. Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids. Bioresour Technol. 76: 107-112.
- NMX-FF-109-SCFI-2008: Humus de lombriz (lombricomposta) - Especificaciones y métodos de prueba. Secretaría de Economía. Dirección General de Normas.
- Olivares, C. M., R. A. Hernández, C. C. Vences, B. J. Jaquézand, B. D. Ojeda. 2012. Worm compost and dairy cattle manure compost as fertilizer and soil improvement. Univ. y Cien. Trópico H. 28(1): 27-37.
- Pérez, A., C. Céspedes y P. Núñez. 2008. Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en la República Dominicana. J. Soil Sc. Plant. Nutr. 8(4):10-29.
- Quintero, L. R. 2014. Poblaciones microbianas, actividades enzimáticas y sustancias húmicas en la biotransformación de residuos. Terra Lat. 32: 161-172.



- Rotondo, R., I. T. Firpo, L. Ferreras, S. Toresani, S. Fernández, y E. Gómez. 2009. Efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas y fertilizante nitrogenado sobre propiedades edáficas y productividad en cultivos hortícolas. *Hortic. Argentina* 28(66): 18-25.
- Ruíz, F.J.F. 2012. Ingeniería del compostaje. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 237 pp.
- Salinas, V. F., M. L. Sepulveda, and Ch. G. Sepulveda. 2014. Chemical characterization of humus produced by Californian Red Worm (*Eisenia foetida*) from four organic substrates in Arica. *IDESIA* 32 (2):95-99.
- Senthil, D. K., K. P. Satheesh, K. V. Uthaya, and G. Anbuganapathi. 2013. Impact of Biofertilizers on Growth and Reproductive Performance of *Eisenia fetida* (Savigny 1926) During Flower Waste Vermicomposting Process. *Annual Rev. and Res. in Biol.* 3(4): 574-583.
- Ullah, S. R., M. Abid, Q. M. Farooq, and R. Ullah. 2015. Dynamics of chemical changes through production of various compost/vermicompost such as farm manure and sugar industry wastes. *Int. J. Recycl. Org. Waste Agricult.* 4: 39-51.
- Ulle, J., F. Fernández, y A. Rendina. 2004. Evaluación analítica del vermicompost de estiércoles y residuos de cereales y su efecto como fertilizante orgánico en el cultivo de lechugas mantecosas. *Hortic. Brasileira.* 22(2): 434.
- Yadav, A., R. Gupta, and V. Garg. 2013. Organic manure production from cow dung and biogas plant slurry by vermicomposting under field conditions. *Int. J. of Rec. of Org. Waste in Agric.* 2(21): 1-7.
- Zambrano, A., C. Rivero, J. Paolini y F. Contreras. 2013. Evaluación de la estabilidad química de enmiendas orgánicas a través de la mineralización de carbono. *Rev. Fac. Agron. (LUZ).* 30: 242-265.



## **Compostaje y vermicompostaje: estrategias de manejo del estiércol equino y bovino en una zona rural del sur del Estado de México**

Vianey Colín Navarro<sup>1</sup>, Francisca Avilés Nova<sup>1, 2</sup>, Ignacio Arturo Domínguez Vara<sup>1</sup>,  
Jaime Olivares Pérez<sup>1</sup>, Sonia López Fernández<sup>1</sup>, Benito Albarrán Portillo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro Universitario UAEM-Temascaltepec, Universidad Autónoma del Estado de México.<sup>2</sup> Autor de correspondencia [franavilesnova@yahoo.com.mx](mailto:franavilesnova@yahoo.com.mx)

### **INTRODUCCIÓN**

En México se generan alrededor de 312,609 t/año de estiércoles pecuarios que ocasionan un impacto ambiental negativo y aún no han sido considerados como subproductos susceptibles de aprovechamiento (Olivares *et al.*, 2012: 27, Sztern, Pravia, 2001: 13). El estiércol animal contiene valiosos nutrientes para las plantas y compuestos orgánicos que pueden restaurar suelos degradados y asegurar una actividad agrícola sostenible a largo plazo (Diacono, Montemurro, 2010: 402), por lo que el tratamiento adecuado de estos residuos reduce el impacto ambiental evitando las emisiones de gases de efecto invernadero de los vertederos y disminuye la necesidad de utilizar fertilizantes químicos (Pimentel *et al.*, 2005: 573).

El compostaje y el vermicompostaje son tecnologías que se utilizan para el tratamiento de los estiércoles pecuarios, las cuales permiten perfeccionar los sistemas de producción agropecuaria obteniendo un impacto positivo ambiental, social y económico, ya que éstas se aplican para transformar y reducir el volumen de estiércol que produce el sector agropecuario (Lazcano, Gómez, Domínguez, 2008: 1013). Durante el proceso de vermicompostaje, los residuos orgánicos se convierten en dos valiosos productos: abono orgánico y biomasa de lombrices (Garg, Gupta, 2006: 391). El abono orgánico de buena calidad es demandado por la agricultura orgánica para mantener el suelo sano y los

productos cosechados libres de sustancias tóxicas, por lo que el uso de este tipo de abonos es atractivo por su menor costo en producción y aplicación, por lo que resulta más asequible a los productores (García *et al.*, 2010: 108). Además, el uso de los residuos orgánicos ha cobrado importancia porque disminuye la utilización de fertilizantes y agroquímicos, contribuyendo al ahorro en la economía del sector agropecuario (Gayosso *et al.*, 2016: 628). La biomasa de lombrices es otro producto con valor monetario en forma de proteína para la alimentación humana y animal (Lalander, Komakech, Vinneras, 2015: 96). El objetivo del estudio fue evaluar el potencial del compostaje y vermicompostaje como estrategia de manejo de estiércol equino y bovino para la producción de abonos orgánicos en una zona rural del sur del Estado de México.

## **MATERIALES Y MÉTODO**

### **ORIGEN DEL MATERIAL**

Los estiércoles se colectaron en los corrales del rancho del Centro Universitario UAEM-Temascaltepec, localizado en el municipio de San Simón de Guerrero ( $100^{\circ}6'27''$  O y  $19^{\circ}2'8''$  N), en el sur del Estado de México. El estiércol equino (Ee) contenía paja de avena (20 %) y el estiércol de bovino (Eb) rastrojo de maíz (10 %). De cada tipo de estiércol se tomó al azar una muestra de 1 kg, la cual fue identificada y colocada en una bolsa de plástico de cierre hermético (Ziplock®, 27 x 28cm), se depositó en una hielera y se trasladó al laboratorio para su análisis. Las características físicas y químicas que presentaron los estiércoles son: Ee pH, 7.6; conductividad eléctrica, 1.1 dS m<sup>-1</sup>; densidad aparente, 0.3 gr cm<sup>-3</sup>; materia orgánica, 84.1 %; carbono orgánico, 38.9 %; C:N, 40.6; nitrógeno total, 1.8; P 1680 partes por millón (ppm); K 5,800 ppm y para Eb pH 8.8; conductividad eléctrica 6.5 dS m<sup>-1</sup> ; densidad aparente, 0.2 gr cm<sup>-3</sup>; materia orgánica 76.4 %; carbono orgánico 44.3 %; C:N 36.9; nitrógeno total, 1.2; P 3,600 ppm y K 16,200

ppm. El proceso de compostaje y vermicompostaje se realizó durante los meses de noviembre 2014 a enero 2015.

### **PROCESO DE COMPOSTAJE**

De cada tipo de estiércol se pesaron 1,200 kg en una báscula línea industrial (marca: Nuevo León® S.A. de C.V) y se formaron 6 pilas cónicas de 100 kg; en Eb fue de 0.8 m de alto y 1.0 m de diámetro en la base, y en Ee 1.0 m x 1.0 m. Las pilas se humedecieron al 80 % con agua potable y se mantuvo durante todo el proceso; se acomodaron sobre una película plástica de polietileno bajo la sombra de árboles de *pinus*. Se utilizó un medidor de humedad (Kelway®). Las pilas fueron volteadas los días 15 y 30 después de iniciado el compostaje; se utilizó una pala Trupper® redonda (20 3/8" x 11 1/2"). De cada pila se tomaron al azar dos muestras de 1 kg de composta a diferentes profundidades, las cuales se identificaron y colocaron en bolsas de plástico de cierre hermético (Ziplock®, 27 x 28cm), se depositaron en una hielera y se trasladaron al laboratorio para su análisis.

### **PROCESO DE VERMICOMPOSTAJE**

De cada compost se pesaron 240 kg en una báscula industrial; todo el compost se dividió en cuatro partes de 60 kg, cada una se colocó por separado en un vermirreactor (2.5 m x 1.0m x 0.90m) construidos con bloques de cemento. Cada uno se inoculó con 80 lombrices cliteladas de *Eisenia fetida* (Leduc, Whaen, Sunahara, 2008: 221) y se cubrió con una película plástica negra (polietileno). Cuando las lombrices consumieron totalmente las compostas (Ce y Cb), 60 días después de la inoculación, el vermicompost de cada vermirreactor se homogeneizó utilizando una pala Trupper® (20 3/8"x 11 1/2") y se tomó al azar una muestra de 1 kg en cada vermirreactor. La identificación y traslado de las muestras fue similar al de las compostas.

## **DINÁMICA DE REPRODUCCIÓN**

En cada vermirreactor se separaron manualmente del vermicompost y se contaron todos los individuos clitelados, preclitelados, juveniles, recién eclosionados y cocones. Se tomó una muestra la cual fue pesada en una balanza electrónica de precisión (OHAUS SP 202®). La biomasa total de lombrices (WBM) que se generó durante el proceso fue calculada mediante la fórmula  $WBM= Ni (\mu A+\mu j)$  (Lalander, Komakech, Vinneras, 2015: 98), donde:

Ni= número inicial de lombrices

$\mu A$ = media de individuos adultos

$\mu j$ = media de individuos juveniles

El porcentaje de aprovechamiento del estiércol transformado en vermicompost es aproximadamente del 50 % (Lalander, Komakech, Vinneras, 2015: 102). El valor económico a granel fue considerado de \$2.00 por kilo. El precio de los núcleos de lombrices fue de \$500.00; en este estudio se consideró que un núcleo lo conforma un total de 5000 individuos.

## **ANÁLISIS QUÍMICOS**

Los análisis químicos del estiércol y la composta se realizaron en el laboratorio Phytomonitor S.A. Los análisis de las vermicompostas se realizaron en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México de acuerdo con la NMX-FF-109-SCFI-2008. Cada muestra se analizó por duplicado. El pH se midió con un potenciómetro (HANNA® Instruments 8521), la conductividad eléctrica (CE) mediante uso de conductivímetro marca DR-3900 Perkin Elmer; la densidad aparente (Da) se estimó con la fórmula  $Da=p/v$ , donde p= peso de la muestra seca v= volumen ocupado por la muestra en mL; la materia orgánica (%Mo) se

calculó ( $Mo=100-\% \text{ cenizas}$ ) por diferencia de peso con el % de cenizas, capacidad de intercambio catiónico (CIC) mediante el método de Acetato de amonio (por titulación) Carbono orgánico (%Co) % de Mo entre factor Van Benmelen ( $Co=\%Mo/ 1.724$ ), nitrógeno total (%Nt) por método microKjeldahl, relación C/N % de Co entre Nt ( $C:N=\%Co/Nt$ ), fosfatos ( $PO_4$ ) (mg/kg) método Morgan y boro (B) (mg/kg) por método Azomethine-H (Espectrómetro Ultravioleta/visible Cary 50). Sulfatos ( $SO_4$ ) (mg/kg) por método turbidimétrico, potasio (K), magnesio (Mg), sodio (Na), calcio (Ca), hierro (Fe), zinc (Zn), cobre (Cu), manganeso (Mn) (mg/kg) por absorción atómica L.C.H. (digestión) (Analyst 400 Spectrometer PerkinElmer®).

### **ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO**

Para el conteo de bacterias (aeróbicas, anaeróbicas y nitrificantes) y hongos (*Trichoderma* sp. y *Aspergillus* sp.), cada muestra se suspendió en agua destilada estéril y se centrifugó para ser sometida a dilución seriada (10-5). Alícuotas de 100 µl fueron diluidas en placas de medio BK (bacilos de Koch) para identificar la presencia de mycobacterias y en medio ELMAR; PDA (agar papa dextrosa) y PDAAL, respectivamente, para la obtención de colonias de hongos y bacterias. Las cajas petri fueron incubadas a 28 °C. Para la cuantificación de actinomicetos la muestra se homogeneizó y se añadió una solución tamponada, después se hicieron diluciones en serie y se incubaron a temperatura ambiente por 2 horas. Las diluciones se sembraron en agar nutritivo y se incubaron a 30 °C (Knoop, Figueiredo, Lopes, Shiedeck, 2015: 59). La identificación de especies se realizó mediante observación morfológica, tinciones y exposición a la luz UV.

## **ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Los datos de las variables físicas, químicas y microbiológicas se reportan en promedios. Para analizar las variables de dinámica se utilizó un diseño completamente al azar a través de un ANOVA, donde los tratamientos fueron los tipos de vermicompost. Se empleó el comando del modelo general lineal (GLM) del programa MINITAB reléase 12.21, y para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS COMPOST Y VERMICOMPOST**

Las características físicas y químicas de los compost y vermicompost se presentan en el cuadro 1. El pH entre las compostas presentó variación, el Ce presentó menor pH (7.7) respecto al Cb que presentó mayor pH alcalino (9.2). La alcalinización en el compost es resultado de la producción amoniaca y la liberación de bases (Ruíz 2012: 20). Valores alcalinos en el pH (7.5 a 8.5) del compost de la fracción sólida de bovinos fueron reportados por Brito, Mourao, Coutinho, Smith, 2008: 1335 atribuidas al efecto de amortiguamiento de los bicarbonatos. Roca, Martínez, Mancilla, Boluda (2009: 785) indican que el aumento de pH de un sustrato orgánico se debe a la actividad de los microorganismos que descomponen la materia orgánica y por la liberación de iones hidroxilo en el medio. La actividad de las lombrices modifica el pH de los sustratos haciéndolos ligeramente alcalinos, lo cual quizá se deba a la excreción de amonio en el interior del intestino o a la acción de las glándulas calcíferas que liberan Ca para equilibrar su pH (Ferrera, Alarcón, 2014: 321). En este trabajo el valor de pH fue alcalino en ambos vermicompost (Ve 8.4 y Vb 8.7). Durán, Henríquez (2006: 25) reportaron similares valores de pH de 7.8 en vermicompost de estiércol bovino, relacionado con la función de las glándulas calcíferas localizadas alrededor del esófago de la lombriz, las cuales secretan



carbonato cálcico y producen una digestión alcalina, obteniéndose valores de pH alcalinos. Los resultados de CE de la Ve se encuentra dentro de los valores reportados por la norma NMX-FF-109-SCFI-2008 para CE ( $\leq 4$  dS m<sup>-1</sup>), sin embargo, en el Vb, la CE rebasa los valores (6.1 dS m<sup>-1</sup>) lo cual se relaciona con la suplementación con sales minerales que recibieron los bovinos. La CE del compost disminuyó con el efecto del vermicompostaje; la CE del Ce fue mayor (2.5 dS m<sup>-1</sup>) respecto al valor del Ve (1.9 dS m<sup>-1</sup>). En el Cb la CE fue de 12.2 presentando la misma tendencia de disminución en el Vb (6.1). Cáceres, Flotats, Marfà (2006: 1087) reportaron valores altos (4.7 dS m<sup>-1</sup>) en CE al final del proceso de compostaje de la fracción sólida de estiércol bovino, atribuyéndolo a la suplementación que recibieron los animales, la cual contenía sales minerales. Hernández *et al.* (2006: 25) reportan valores de CE inferiores a los presentados en este trabajo (3.13 dS m<sup>-1</sup>) en el estiércol de bovino composteado a diferentes niveles de humedad. Galindo *et al.* (2014: 1229) mencionan que un descenso en la CE se debe al lavado de nutrientes (lixiviado) por un exceso de humedad. Resultados similares de CE en la Ve (1.9 dS m<sup>-1</sup>) reportaron Rotondo *et al.* (2009) en un estudio realizado en vermicomposta elaborada con una mezcla residuos de casa y composta de equino, registrando valores de CE de 0.42 dS m<sup>-1</sup>. La Da en el Ce fue de 0.3 g.cm<sup>-1</sup> y en Ve de 0.4 g.cm<sup>-1</sup>; resultados similares de Da en Ve reportaron Rotondo *et al.* (2009: 19) para vermicompost de equino (0.42 g. cm<sup>-1</sup>), este valor es atribuido a la porosidad del material inicial (estiércol). La Da del Cb (0.4 g/cm<sup>-1</sup>) y Vb (0.6 g.cm<sup>-1</sup>). La Da del vermicompost de bovino (Vb) presentó menor densidad aparente a la reportada por Domínguez (2013: 23) (0.95 g/cm<sup>1</sup>) en la composta de una mezcla de estiércol de bovino al 50 % más cachaza de caña de azúcar, debido a un mayor tamaño de partícula, lo que hace más tardado el proceso de fragmentación que realiza la lombriz.

Cuadro 1. Características físicas y químicas de composts de estiércol equino y bovino y vermicomposts de *Eisenia fetida*

Sustrato orgánico	Compost		Vermicompost	
	Ce	Cb	Ve	Vb
Parámetro				
pH	7.7	9.2	8.4	8.7
CE dS m <sup>-1</sup>	2.5	12.2	1.9	6.1
Da (g/cm <sup>3</sup> )	0.3	0.4	0.4	0.6
MO (%)	71.2	66.4	73.7	67.1
Co (%)	24.9	38.5	21.3	38.9
C/N	27.6	21.4	16.3	12.5
Nt	0.9	1.8	1.3	3.2
P (ppm)	2,480	6,560	1,920	7,440
Cl (ppm)	2,836	19,852	2,836	6,381
Na (ppm)	1,460	9,700	1,070	4,000
Ca (ppm)	9,800	27,200	3,500	42,200
Mg (ppm)	2,600	10,200	1,800	10,800
Fe (ppm)	3,000	3,050	2,360	3,260
Zn (ppm)	51	340	47	460
Cu (ppm)	10	51	3	46
Mn (ppm)	245	480	148	680
B (ppm)	1,020	1,320	180	207.5
K (ppm)	12,000	35,000	8,000	17,200

CE: conductividad eléctrica, Da: densidad aparente, MO: materia orgánica, Co: carbono orgánico, Nt: nitrógeno total, C/N: relación carbono nitrógeno, P: fósforo, Cl: cloro, Na: sodio, Ca: calcio, Mg: magnesio, Fe: hierro, Zn, zinc, Cu: cobre, Mn: manganeso, B: boro, K: potasio, ppm: partes por millón. Ce: compost equino, Cb: compost bovino, Ve: vermicompost equino, Vb: vermicompost bovino.

La relación C/N de los compost (Ce y Cb) presentó disminución con respecto al vermicompost. La relación de C/N del compost equino (Ce) fue de 27.6 y del Ve fue de 16.3. El Cb presentó una C/N 21.4 y el Vb de 12.5. Costa *et al.* (2014: 12), reportaron mayores relaciones C/N (34 y 28) a lo encontrado en los dos compost evaluados en este trabajo, en compostas de estiércol ovino que contenía paja como cama y estaba mezclado con estiércol bovino en proporción 0:100 y 25:75., Gupta, Garg (2009: 434) reportan relación C/N de 11.3 en el vermicomposteo de estiércol de vaca, relacionándolo a la microbiota que aportan las lombrices que, entre mayor sea el consumo de nitrógeno y carbono, aumentará este valor. El Vb, presentó mayor cantidad de macronutrientes y micronutrientes respecto al compost. El Ve presentó menor contenido de macro (P, K) y micronutrientes (Na, Ca, Mg, Fe), lo cual indica que con el proceso de vermicompostaje

los nutrientes disminuyeron. Garg, Chand, Chillar, Yadav (2005: 53), reportaron menor valor de P al reportado en este trabajo (0.70 ppm) en la vermicomposta de estiércol de equino, y lo atribuyen al material o sustrato del que se elabora la vermicomposta. Cook *et al.* (2015: 90) reportaron un incremento en Al, Ca, Fe, K y S, así como una disminución en la concentración de N, P, Mg y Zn en algunos de sus tratamientos en el compostaje de una mezcla de purines de cerdo con aserrín, durante dos estaciones del año (otoño y verano). Hernández *et al.* (2006: 24), mencionan el contenido de P, K y Ca en la vermicomposta, dependen del sustrato orgánico con el cual es alimentada la lombriz reportando en vermicompost de estiércol de bovino valores en ppm de Ca (3380), Mg (5120), Zn (1.7), Fe (0.80), Mn (6.5), Cu (1.02), siendo valores menores a los obtenidos en este trabajo. Eulloque (2013: 30) menciona que los iones metálicos, principalmente Zn, Fe, Mn y Cu en el vermicomposteo tienden a generar reacciones con otros compuestos tales como metales pesados o compuestos tóxicos, participando en su inmovilización y degradación o persistencia al ser aplicados en el suelo. El contenido de Cl se encuentra relacionado directamente con la CE, ya que nos habla del contenido (tóxico o benéfico) de sales que están presentes en el vermicompost. La norma mexicana para humus de lombriz (NMX-109-SCFI-2008) especifica que éste debe estar libre de cualquier metal o ion metálico que pudiera representar cierto nivel de toxicidad al ser aplicado al suelo, ya que podría repercutir en la fertilidad y recuperación de este. En este trabajo el valor de Cu en el vermicompost de bovinos, rebasó los valores permitidos.

### **DINÁMICA DE REPRODUCCIÓN DE *Eisenia fetida***

El cuadro 2 presenta los resultados de la dinámica de reproducción de *E. fetida* obtenidos al final de proceso de vermicompostaje en cada tipo de sustrato o compost. El Ce

presentó mayor número de lombrices adultas o cliteladas ( $P=0.051$ ), precliteladas ( $P=0.001$ ), juveniles ( $P=0.009$ ), recién eclosionados ( $P=0.069$ ) y cocones ( $P=0.017$ ). Acosta, Solís, Villegas, Cardoso (2012: 134) evaluaron la dinámica poblacional de *E. fetida* utilizando cuatro tipos de alimentación (estiércol de borrego y residuos organodomésticos) reportando que el mayor número de individuos se encontró en la composta elaborada en estiércol maduro y lo atribuyen al contenido de materia orgánica disponible para la lombriz. Garg, Gupta (2011: 22) evalúan el crecimiento de *E. fetida* en estiércol solo y estiércol mezclado con residuos vegetales en distintas proporciones (100 % estiércol, 90-10 % de residuos, 80-20 %, 70- 30 %, 60-40 %, 50-50 % y 40-60 %) encontrando que el crecimiento poblacional fue mayor en mezclas de 90-10 % y 80-20 %, y afirman que el medio de crecimiento (tipo de alimento) que se proporcione a la lombriz tiene un efecto importante en la reproducción.

**Cuadro 2.** Dinámica de reproducción de *Eisenia fetida* alimentadas con compost de estiércol equino (Ce) y de estiércol bovinos (Cb)

Compost	Etapa fenológica				
	Clitelados	Preclitelados	Juveniles	Recién eclosionados	Cocones
Ce	3976 <sup>a</sup>	4248 <sup>a</sup>	15888 <sup>a</sup>	6124 <sup>a</sup>	4880 <sup>a</sup>
Cb	1149 <sup>b</sup>	1228 <sup>b</sup>	2740 <sup>b</sup>	1946 <sup>b</sup>	1740 <sup>b</sup>
<i>P</i>	0.051	0.001	0.009	0.069	0.017

Literales diferentes entre renglones presentan diferencias significativas entre compostas.

El Ve presentó mayor número de individuos total, pudiéndose atribuir a la mayor C/N derivada del material inicial (estiércol), además presentó mayor cantidad de

microorganismos, teniendo en cuenta que éstos son fuente de alimentación de la lombriz, principalmente hongos y protozoarios.

### CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS DEL VERMICOMPOST

Las características microbiológicas de las vermicompost de *E. fetida* alimentada con composta de estiércol equino (Ve) y con composta de estiércol bovino (Vb) se presentan en el cuadro 3. En este trabajo el Ve presentó mayor cantidad de bacterias, hongos y actinomicetos. Los hongos se encuentran en mayor cantidad cuando los componentes de la celulosa, hemicelulosa y lignina son degradados más lentamente (De Boer, Folman Summerbell Boddy, 2005: 802). En este trabajo el Ve presentó mayor relación C/N lo que se relaciona con el mayor contenido de actinomicetos.

**Cuadro 3.** Características microbiológicas de vermicompost de *Eisenia fetida* elaborados a partir de estiércol equino (Ve) y estiércol bovino (Vb)

	Ve	Vb
Bacterias UFC/g o mL de muestra		
Aeróbicas	26,266,667	19,600,000
Anaeróbicas	260,000	73,333
Nitrificantes	4,000,000	1,366,667
<i>Pseudomonas flouroscentes</i>	333,333	266,667
<i>Bacillus spp.</i>	1,170,000	1,426,667
Hongos propágulos/g o mL de muestra		
<i>Aspergillus sp.</i>	14,333	4,667
Actinomicetes propágulos/g o mL de muestra		
Actinomicetes	6,066,667	1,200,000

UFC: unidades formadoras de colonias, g: gramos, mL: mililitros.

Bollo (2001: 25) menciona que la abundancia microbial de las vermicompostas está dada principalmente por el mismo proceso de elaboración, en donde los sustratos pasan a través del tracto digestivo de la lombriz, la cual posee una flora microbial de bacterias y

hongos que alcanza unos 500,000 millones de microorganismos, enriqueciéndose de éstos, pero adicional a este paso el proceso de vermicompostaje, a diferencia del compostaje, no alcanza la etapa termófila donde hay muerte de una gran población de microorganismos y ocurre una selección. Durán, Henríquez (2006: 49) realizaron un estudio de caracterización de vermicompost (con lombriz *Eisenia fetida*) de cinco sustratos: desechos domésticos, estiércol de vacuno, residuo de banano, follaje de ornamentales y broza de café; reportaron contenidos de bacterias, hongos y actinomicetos de 1,8000000, 5,1000 y 2,200000 (UFC), respectivamente, y hacen mención de la riqueza microbial del vermicompost sobre otros sustratos en lo que respecta a su actividad supresora de enfermedades en el suelo y las ventajas que están relacionadas directamente con una mayor población de microorganismos benéficos. Pérez, Céspedes, Núñez (2008: 25) caracterizaron fisicoquímicamente y biológicamente a diversas enmiendas orgánicas (vermicompost, bocashi) y encuentra un mayor número de hongos, levaduras y actinomicetes benéficos en el vermicompost y lo asocian a las temperaturas bajas en los vermirreactores al ser cubiertos en la superficie, al tamaño de la partícula del sustrato y al contenido de azúcares que excreta la lombriz y que favorecen el incremento de la población microbiana. Aira, Monroy, Domínguez (2009: 1406) evalúan la actividad microbiana del estiércol de cerdo vermicompostado por distintas especies de lombrices y muestran a *E. fetida* como una de las especies que poseen mayor número de microorganismos en el intestino, los cuales formarán parte de sus deyecciones, lo que al final del proceso se verá reflejado en una enmienda de mayor valor agronómico.

## POTENCIAL ECONÓMICO DEL VERMICOMPOST EQUINO Y BOVINO

Con el fin de evaluar el beneficio de la tecnología del vermicompostaje, y con base en las variables de producción y reproducción de *E. foetida*, se estimó el potencial económico que se podría generar del estiércol de un equino y un bovino, manejado con dicho procesos durante un año. El cuadro 4 presenta el potencial económico de los vermicompost.

Cuadro 4. Potencial económico del vermicompost de dos estiércoles pecuarios

	Equino	Bovino
Peso vivo promedio de un animal (kg)	350	400
Estiércol generado por día (kg ST)	5	3
Estiércol generado por año (kg ST)	1,825	1,095
Vermicomposta generada por año (kg)	912.5	547.5
Valor total de la vermicomposta por año (\$)	4,562.5	2,737.5
Biomasa de lombriz (individuos)	13,029,120	311,120
Total de proteína producida/año (kg)	3.8	.100
Valor de núcleos lombriz (\$500/núcleo)	5,000	5,000

ST= sólidos totales

El beneficio económico anual obtenido de la generación de estiércol de un ejemplar equino de 350 kg y un bovino de 400 kg, a través de la producción de vermicompost, aporta recursos económicos por \$17,300.00; de igual forma la biomasa de lombriz que se obtiene anualmente puede ser considerada como una fuente de proteína (60 %) de fácil acceso para la alimentación humana y animal (Vielma, Durán, León, Medina, 2003: 44) por lo que se considera como otro ingreso económico la venta de núcleos (\$5,000 por núcleo) como pie de cría, estos recursos pueden servir de apoyo a la economía de las familias de las zonas rurales del sur del Estado de México.

## CONCLUSIONES

Los estiércoles de equino y bovino presentaron cambios en sus parámetros físicos, químicos y microbiológicos después del manejo que se les dio a través de compostaje y vermicompostaje, siendo como tal, residuos orgánicos más estables. El Ve presentó mayor dinámica de reproducción de *Eisenia fetida* pudiéndose atribuir una mayor biomasa de microorganismos relacionados con mayor relación C/N del material inicial.

El potencial económico derivado del vermicompostaje del estiércol pecuario permitirá a los productores de las zonas rurales, que se ubican en el sur del Estado de México, obtener abonos orgánicos para su uso en la agricultura, disminuyendo con ello el uso de insumos externos o, bien, generar recursos económicos que pueden ser utilizados mejorar las condiciones de vida de sus familias.

## LITERATURA CITADA

Acosta D. C., Solís P. O., Villegas T. O., Cardoso V. L. 2013. Precomposteo de residuos orgánicos y su efecto en la dinámica poblacional de *Eisenia foetida*. *Agronomía Costarricense* 37(1): 127-139.

Aira M., Monroy F., Domínguez J. 2009. Changes in bacterial numbers and microbial activity of pig slurry during gut transit of epigeic and anecic earthworms. *J. of Hazardous Materials* 162, 1404-1407.

Bollo, E. 2001. *Lombricultura: una alternativa de reciclaje*. Quito. Soboc Grafic. 149 p.

Brito L.M., Mourão I., Coutinho J., Smith S.R. 2012. Simple technologies for on farm composting of cattle slurry solid fraction. *Waste Manage.* 32, 1332- 1340.



Cáceres R., Flotats X. y Marfá O. 2006. Changes in the chemical and physicochemical properties of the solid fraction of cattle slurry during composting using different aeration strategies. *Waste Manage.* 26, 1081-1091.

Cook K.L, Ritchey E.L., Loughrin J.H., Haley M., Sistani K.R., Bolster C.H. 2015. Effect of turning frequency and season on composting materials from swine high-rise facilities. *Waste Manage.* 39, 86-95.

Costa M.S.S., Cestonaro T., Costa L.A.M., Rozatti M.A.T., Carneiro L.J., Pereira D.C. y Lorin H.E.F. 2014. Improving the nutrient content of sheep bedding compost by adding cattle manure. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 86, 9-14.

De Boer W., Folman L., Summerbell R., Boddy L. 2005. Living in a fungal world: impact of fungi on soil bacterial niche development. *FEMS Microbiol. Rev.* 29, 795-811.

Diacono M., Montemurro F. 2010. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 30 (2) 401-422.

Domínguez, G. I. 2013. Evaluación de sustratos orgánicos para el crecimiento de plántulas de caña de azúcar en el Trópico Húmedo. Tesis de maestría. Colegio de posgraduados. Campus Tabasco.

Durán, L.; Henríquez, C. 2006. Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense* 31(1): 41-51.

Eulloque G. J. 2013. Caracterización física, química, biológica y valoración agronómica del vermicompost de *Eisenia foetida* obtenido del contenido ruminal de bovino. Tesis de maestría. I. P. N. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral-Regional de Michoacán.

Ferrera C. R., Alarcón A. 2014. Microbiología agrícola: hongos, bacterias, micro y macro fauna, control biológico y planta-microorganismo. México: Trillas. 568 p.

Galindo, P. F.; Fortis H. M.; Preciado R. P.; Trejo, V. R.; Segura, C. M. A.; Orozco, V. J. A. 2014. Caracterización físico-química de sustratos orgánicos para producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo sistema protegido. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, vol. 5, núm. 7: 1219-1232.

Garg V. K., Chand S., Chhillar A., Yadav, A. 2005. Growth and reproduction of *Eisenia foetida* in various animal wastes during vermicomposting. Applied Ecology and Environmental Research 3(2): 51-59.

García J., Trejo L., Velásquez M., Ruíz A., Gómez F. 2010. Crecimiento de petunia en respuesta a diferentes proporciones de composta en sustrato. Rev. Chapingo Ser. Hortic. 16: 107-113.

Garg P., Gupta A., Satya S. 2006. Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: a comparative study. Bioresour. Technol. 97 (3)391- 395.

Garg V. K., Gupta R. 2011. Optimization of cow dung spiked pre-consumer processing vegetable waste for vermicomposting using *Eisenia fetida*. Ecotoxicology and Environmental Safety Vol. 74: 19-24.

Gayosso S., Borges L., Villanueva E., Estrada M., Garruña R. 2016. Sustratos para producción de flores. Agrociencia 50: 617-631.

Gupta R., Garg V. K. 2009. Vermiremediation and nutrient recovery of non-recyclable paper waste employing *Eisenia fetida*. Journal of Hazardous Materials 162, 430-439.

Hernández, A. J.; Pietrosevoli, S.; Faría, A.; Canelón, R.; Palma, R.; Martínez, J. 2006. Frecuencia de riego en el crecimiento de la lombriz (*Eisenia* spp) y caracterización química del vermicompost. Revista 20 UDO Agrícola 6 (1): 20-26.

Knopp, Z. V., Figueiredo, N. G., Lopes, L. D., Shiedeck, G. 2015. Crescimento e reprodução de minhocas em misturas de resíduos orgânicos e efeitos nas propriedades químicas e microbiológicas do húmus. *Interciencia*, vol. 40, núm. 1: 57-62.

Lalander C., Komakech A., Vinneras B. 2015. Vermicomposting as manure management strategy for urban small-holder animal farms – Kampala case study. *Waste management* 39: 96-103.

Lazcano C., Gómez B. M., Domínguez J. 2008. Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. *Chemosphere* 72: 1013-1019.

Leduc F., Whaen J., Sunahara G. 2008. Growth and reproduction of the earthworm *Eisenia fetida* after exposure to leachate from wood preservatives. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 69: 219-226.

NMX-FF-109-SCFI-2008: Humus de lombriz (lombricomposta) – Especificaciones y métodos de prueba.

Olivares C. M. A., Hernández R. A., Vences C. C., Jaquéz B. J., Ojeda B. D. 2012. Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. *Universidad y Ciencia, UJAT*, 28 (1): 27-37.

Pérez A., Céspedes C., Nuñez P. 2008. Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en República Dominicana. *J. Soil SC. Plant Nutr.* 8(4), 10-29.

Pimentel D., Hepperly P., Hanson J., Doude D., Seidel R. 2005. Environmental energetic and economic comparisons of organic and conventional farming systems. *Bioscience* 55 (7) 573-582.

Roca P. C., Martínez C. P., Mancilla P., Boluda R. 2009. Composting rice straw with sewage sludge and compost effects on the soil-plant system. *Chemosphere* 75:781-787.

Rotondo, R.; Firpo, I. T.; Ferreras, L.; Toresani, S.; Fernández S.; Gómez, E. 2009. Efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas y fertilizante nitrogenado sobre propiedades edáficas y productividad en cultivos hortícolas. *Horticultura Argentina* 28 (66)18-25.

Ruíz F.J.F. 2012. Ingeniería del compostaje. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 237 pp.

Sztern D., Pravia M. A. 2001. Manual para la elaboración de compost, bases conceptuales y procedimientos. Organización Panamericana de la salud. Organización mundial de la salud. 56 p.

Vielma R. R., Ovalles D. J., León L. A., Medina A. 2003. Valor nutritivo de la harina de lombriz (*Eisenia foetida*) como fuente de aminoácidos y su estimación cuantitativa mediante cromatografía en fase reversas (HPLC) y derivatización precolumna con o-ftalaldehído (OPA). *Ars Pharmaceutica* 44:1; 43-58.

**Artículo en proceso para ser enviado:**

**PARÁMETROS PRODUCTIVOS Y CALIDAD DE LA CANAL DE OVINOS EN  
FINALIZACIÓN CON DISTINTO TIPO DE ALIMENTACIÓN**

Colín Navarro Vianey<sup>1</sup>, Avilés Nova Francisca<sup>1\*</sup>, Domínguez Vara Ignacio A.<sup>2</sup>, Olivares  
Pérez Jaime<sup>3</sup>, Trujillo Gutiérrez Daniel<sup>2</sup>

**RESUMEN**

El objetivo del trabajo fue evaluar las características y la calidad de la canal en ovinos de pelo finalizados en un sistema silvopastoril (SSP) con *Leucaena leucocephala* y ovinos finalizados en corral. El experimento se realizó en el Rancho del Centro Universitario UAEM-Temascaltepec, México. Se utilizaron 30 corderos (Dorper x Kathdin) de  $20\pm 1$  kg, se distribuyeron al azar 15 por tratamientos. T1: ovinos finalización en corral y T2: ovinos finalizados en SSP. Se estimó la ganancia diaria de peso (GDP) por ovinos cada semana durante noviembre a marzo 2017. Posteriormente los ovinos se sacrificaron. En la canal se midieron características morfométricas y pH en la carne se midió PPC, fuerza de corte, área del ojo de la chuleta. La GDP y características de la canal se utilizó un diseño completamente al azar, los datos fueron analizados con PROC MIXED (SAS, 2004) y se realizaron contrastes con LSMESTIMATE y CONTRAST. La GDP y las características de la canal y la carne no presentaron diferencias ( $P>0.05$ ) entre tratamientos.

**Palabras clave:** ovinos, canal, calidad, alimentación, pastoreo

## Introducción

La alimentación de los rumiantes depende de la producción de biomasa a partir de los pastos tropicales. Sin embargo, las gramíneas no contienen la suficiente proteína cruda que induzca ganancias de peso rápidas y consistentes en el transcurso del año. Las gramíneas tropicales generalmente no superan el 10% de proteína cruda (Shelton y Dazell, 2007). La implementación de prácticas de tipo agroforestal, como lo es el silvopastoreo, permite la integración de árboles y arbustos con la producción animal. Con este modelo, se pueden desarrollar sistemas de producción más racionales, que puedan mejorar el comportamiento animal (ganancia de peso), la calidad de los productos de origen animal (incremento de los CLA's en carne) y la rentabilidad mediante el mejoramiento de la fermentación ruminal (Ku *et al.* 2014).

Las especies arbóreas que producen follaje y frutos se incorporan satisfactoriamente a la alimentación de los ovinos, como forraje fibroso, energético y proteico, principalmente en las épocas de estiaje (Ku *et al.* 1999). Barros *et al.* (2012) refirieron que el follaje de *Leucaena leucocephala* contiene 29 % de proteína cruda, que es altamente digestible (63 % *in vitro*), y que su producción de biomasa permanece constante durante el año. La incorporación de leguminosas arbóreas como *L. leucocephala* en los Sistemas Silvopastoriles (SSP) es una alternativa para incrementar la producción de carne de los rumiantes, ya que proveen de forraje rico en nutrientes indispensables para el crecimiento de los animales.

Campos *et al.* (2011) reportan ganancias diarias de peso en bovinos en SSP en Brasil superiores a los encontrados en un sistema de producción en monocultivo en dos épocas del año (722 y 624 en lluvias, 420 y 352 g/ animal); en estos resultados pudo influir la composición química de los forrajes. Ramírez *et al.* (2009) informaron que las ganancias

de peso de ovinos en pastoreo de un monocultivo fluctúan entre los 70-100 g/ animal/ d, dependiendo de la calidad del pasto. Barros *et al* (2012) obtuvieron ganancias de peso moderadas (81.33 g/ animal/ d) en ovinos Pelibuey, que pastorearon 35,000 y 55,00 plantas de *Leucaena*. Como tal los SSP se aproximan al concepto de los modelos de producción ganadera sostenible y representan una alternativa para otorgar valor agregado a la producción de carne ovina en los climas tropicales, por lo que el objetivo del trabajo fue evaluar las características y la calidad de la canal en ovinos de pelo finalizados en un sistema silvopastoril (SSP) con *Leucaena leucocephala* y ovinos finalizados en corral.

### **Materiales y método**

El experimento se realizó en el Rancho del Centro Universitario UAEM-Temascaltepec de diciembre 2016 a marzo 2017. Se utilizaron 30 corderos (Dorper x Katahdin) de 20±1 kg los cuales se distribuyeron al azar con 15 animales por tratamiento. Los tratamientos fueron tratamiento 1 (T1): ovinos finalizados en corral y tratamiento 2 (T2): ovinos finalizados en SSP. El SSP fue establecido en 2 potreros de 0.3 ha cada uno, integrado por callejones con 6 plantas de *Leucaena leucocephala* por m<sup>2</sup> asociada con gramíneas de *Brachiarias*: Mulato II e Insurgente y *Panicum*: Tanzania y Mombasa. La *Leucaena* fue establecida en noviembre de 2015; al inicio del pastoreo presentaba 1.20 cm de altura y 18 % de PC. Los animales se rotaron en cada potrero de acuerdo a la disponibilidad de forraje durante 60 días y se pesaron en ayunas una vez a la semana (GDP), utilizando una báscula. La composición de la dieta se presenta en el cuadro 1.

Cuadro 1. Composición de la dieta proporcionada a los ovinos en finalización

<b>COMPOSICIÓN</b>			
<b>g kg<sup>-1</sup> MS</b>	<b><i>Leucaena</i></b>	<b>Pasto</b>	<b>*Concentrado</b>
<b>MS</b>	119.0	72.9	71.6
<b>Humedad</b>	881.0	927.1	928.4
<b>PC</b>	179.1	49.6	140.1
<b>FDN</b>	442.35	793.70	317.05
<b>FDA</b>	206.70	415.55	159.80

MS: materia seca, PC: proteína cruda, FDN: fibra detergente neutro, FDA: fibra detergente ácido, \*maíz molido 10 %, maíz quebrado 5 %, sorgo molido 20 %, pata de sorgo 20 %, soya 15 %, salvado de trigo 8 %, rastrojo molido 20 %, premezcla de vitaminas 2 % (NUTRIBASE®)

Los ovinos del T2 pastorearon diariamente durante 8 h a partir de las 8:00 A.M. En cada potrero había disponible agua a libre acceso. El consumo de materia seca (CMS) fue medido al inicio del experimento (30 d) y al final del experimento (60 d), utilizando 1 g de marcador externo (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) el cual se proporcionó durante un periodo de adaptación de 7 d y en los 5 d posteriores se tomaron muestras de heces directamente del recto a las 0800 y 1600 h. Las muestras de heces de cada animal eran colocadas en bolsas previamente identificadas (número de animal y tratamiento) y al final las muestras se agruparon y homogenizaron formando una muestra compuesta por animal y por tratamiento. Las muestras se secaron en una estufa de aire forzado a 60° C por 24 h y



se molieron en un molino Thomas Willey utilizando una malla de 1mm. El  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  en heces se determinó por espectrofotometría (modelo GENESYS 10S UV-VIS, Thermo scientific) a 430 nM tras la calcinación de la muestra a 450° C por 12 h (Fenton y Fenton, 1979).

A partir de los resultados obtenidos se estimó la producción fecal en  $\text{g MS d}^{-1}$ , que se obtiene a partir del cociente de la dosis del marcador dividido por la concentración del marcador en las heces. Posteriormente se determina el consumo en función de la producción fecal y la Digestibilidad *in vitro* con las fórmulas propuestas por Ramírez *et al.* (2000). Posteriormente todos los ovinos se sacrificaron siguiendo la NOM-033-SAG/ZOO-2014 en un obrador de carne en el municipio de Capulhuac, México. A las 24 h post sacrificio de los animales se midieron características morfométricas (longitud de canal, de pierna, diámetro de pierna, perímetro de grupa, ancho tórax y profundidad de tórax) de la canal utilizando cinta métrica y regla graduada de 30 cm y la grasa dorsal (Colomer *et al.*, 1988; Delfa *et al.*, 1992), conformación muscular (sistema de clasificación europeo y conformación de canales ovinas por NMX) y el grado de engrasamiento (SEUROP). Las características físicas de la carne: pH (inicial, 45 min; final, 24 h) con potenciómetro ORION, color con colorímetro Minolta, área del ojo de la chuleta con planímetro PLANIX 5,6 y fuerza de corte con cuchilla Warner Bratzler y las características químicas: para el análisis de la calidad de la carne se utilizaron muestras de músculo (50 g) de *Longissimus dorsi* del lado izquierdo de cada canal, las cuales se empacaron y congelaron (-20 ° C) para su posterior análisis. El contenido de materia seca (MS), cenizas, materia orgánica (MO) proteína y grasa fueron determinadas en función de la metodología AOAC (2007). Se utilizó un diseño completamente al azar para la GDP y CMS con PROC MIXED, se realizaron LSMESTIMATE y CONTRAST, los ovinos fueron considerados sujetos aleatorios con estructura de covarianza TOEP y método de

estimación REML1. Las características morfométricas y de calidad de la carne a través de GLM (SAS Institute Inc. 2004) y la comparación de medias se realizó con una prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).

## **Resultados y discusión**

La GDP no presentó diferencias entre tratamientos ( $p=0.5295$ ), tal como se muestra en el cuadro 2. Los resultados de GDP encontrados en este trabajo son similares a los reportados por Cabrera *et al.* (2007) que no encuentran diferencias entre tratamientos en ovinos Dorper/Katahdin alimentados con sorgo y suplementados en distintas proporciones (0, 613.0, 617.0 y 620.0 g/d) en un periodo de 90 días reportando pesos iniciales de 20.13, 20.45, 20.59, 20.67 y finales de 44.93, 45.02, 45.22 y 45.45 respectivamente e indican que la ganancia diaria de peso está relacionada con el consumo y el nivel de proteína del suplemento o forraje que se proporcione al animal, de igual manera Partida *et al.* (2009) encuentran ganancias de 158 g ovino<sup>-1</sup> d en ovinos Pelibuey alimentados con concentrado (soya, maíz, melaza y pollinaza). La crianza de ovinos enfrenta problemas de altos costos de producción por conceptos de la alimentación, especialmente por en sistemas de engorda intensivos por lo que los forrajes se presentan como una alternativa viable en la alimentación de rumiantes (Reséndiz *et al.*, 2013).

El consumo de materia seca (CMS) no presentó diferencias entre tratamientos; los resultados encontrados en este trabajo son diferentes a los reportados por Valenzuela (2013) en ovinos alimentados en paradera de monocultivo y en SSP (663.8 y 707.2 g d<sup>-1</sup> respectivamente), estos resultados se atribuyen a la disponibilidad de forraje, ya que una disponibilidad mayor de forraje estimula el consumo. Por lo tanto, en el SSP la

alimentación proporcionó los nutrientes necesarios para la época de estiaje sin afectar el crecimiento de los ovinos.

Las canales ovinas respecto a su morfometría no presentaron diferencias significativas, este efecto está directamente relacionado con el tipo de alimentación con que fueron finalizados. Resultados similares a los encontrados en este trabajo en longitud de canal y longitud de pierna (68.3 y 38.20 cm), son reportados por Arvizu (2011) en ovinos Rambouillet en pastoreo en praderas de *Ryegrass* y suplementados con concentrado. Las características morfométricas de la canal están relacionadas directamente con el genotipo y el peso al sacrificio de los animales, por lo que la alimentación es un factor determinante en las características finales que presentará la canal (Partida, 2016).

El color de la carne depende del tipo de músculo (tipo de actividad) y de la concentración de mioglobina que contenga el tejido muscular; además del estado de oxidación del átomo de hierro del grupo hemo, y de una posible desnaturalización de la globina (Hulot y Ouhayoun, 1999). Los resultados de color obtenidos son similares a los encontrados por Partida (2016) con valores de 37.8 y 13.8 ( $L^*$  y  $a^*$  respectivamente) para animales engordados en pastoreo. Las variaciones en la coloración de la carne se atribuyen a distintos factores tales como la raza, la edad y al tipo de alimentación (Warris, 2010).

Cuadro 2. Rendimiento y características morfométricas de las canales ovinas finalizadas en SSP y en corral

Variables	Tratamientos		EEM
	T1	T2	
GDP, g d <sup>-1</sup>	150.0	134.0	4.45
CMS, g d <sup>-1</sup>	1225	1171	165
Conversión alimenticia, kg MS	8.16	8.73	0.75
Eficiencia alimenticia g kg <sup>-1</sup>			
Peso vivo al sacrificio, kg	43.52	40.52	2.50
Peso de la canal caliente, kg	21.3	20	2.35
Peso de la canal fría, kg	18.93	18.06	0.83
Longitud de la canal, cm	68.3	65.8	2.84
Longitud de pierna, cm	39.05	39.3	1.75
Índice de compacidad	0.27	0.27	2.31
Diámetro de pierna, cm	34.9	34.5	2.50
Perímetro de grupa, cm	59.1	59.1	2.35
Ancho de grupa, cm	19.9	19.25	1.33
Ancho de tórax, cm	22.7	22.3	1.13
Profundidad de tórax, cm	17.1	16.7	0.95
<i>Color</i>			
L <sup>Ti</sup>	36.36	37.10	0.51
a <sup>Ti</sup>	12.35	12.59	0.38

b <sup>Ti</sup>	7.13	7.58	0.33
Pérdida por cocción, %	35.84	35.11	0.75
Área del ojo de la chuleta, cm <sup>2</sup>	12.84	13.84	0.62
Fuerza de corte, kg <sub>f</sub>	2.54	3.07	0.26
pH <sup>Ti</sup>	6.89	6.77	0.06

T1: animales finalizados en corral, T2: animales finalizados en SSP. Ti, efecto de tiempo de medición ( $p < 0.05$ ); Tr, efecto de tratamiento ( $p < 0.05$ ); TixTr, efecto de interacción de tiempo de medición por tratamiento ( $p < 0.05$ ). EEM: error estándar de la media.

Dentro de los métodos de determinación de la ternera se encuentran los de apreciación objetiva y los de apreciación subjetiva. La técnica de Warner Bratzler, mediante el cual una cuchilla mide la resistencia que opone la carne a ser cortada, la cual se expresa como kilogramos-fuerza (kgf), brinda un dato objetivo (a mayor valor de fuerza de corte, menor ternera). Esta evaluación se realiza en el músculo *Longissimus dorsi*, pues se cree que es representativo de la calidad y composición de la masa cárnica de la canal. La fuerza de corte no presentó diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre tratamientos. El promedio de la fuerza de corte encontrado por Partida (2016) fue de 2.9 a 2.4 kgf en carnes muy suaves y lo atribuye al tipo de suplemento que se da al animal. La textura de la carne es la calidad más reconocida por el consumidor y depende de la raza, sexo, tipo de alimentación y de la edad del animal pero puede ser modificada después del sacrificio por la maduración que ocurre cuando la carne se mantiene en refrigeración. En este proceso intervienen enzimas proteolíticas de tipo endógeno (Olivan *et al.*, 2014).

Los promedios del área del ojo de la chuleta encontrados en este experimento son diferentes a los encontrados por Domínguez *et al* (2016), ellos reportaron valores de 12.7 cm<sup>2</sup> para dos tipos de razas, atribuyendo este comportamiento al tipo de suplemento que se dio al animal.

El pH en este experimento fue similar ( $p > 0.05$ ) entre tratamientos, sin embargo, este fue afectado por el período de tiempo ( $p < 0.05$ ) de medición. Estos valores son diferentes a los reportados por Partida (2016) con valores de 6.8 en carne de ovino. Este pH cercano a la neutralidad se atribuye a un manejo adecuado durante el sacrificio, ya que después del sacrificio, el glucógeno que se encuentra en el musculo es convertido en ácido láctico. Cuando la concentración de glucógeno muscular es adecuada, y se produce una perfecta acidificación de la carne desde un pH inicial próximo a la neutralidad, a un pH ácido a las 24 h del sacrificio. La variación en los valores de pH, se da por un sinnúmero de factores, algunos de ellos son intrínsecos en el animal (genética, metabolismo, susceptibilidad al estrés, etc.) pero normalmente los factores más relevantes tienen que ver con el ambiente en que se manejó al animal y su canal durante las 24 horas previas y posteriores al faenado (Braña *et al.*, 2011).

La composición química de la carne tiene especial relevancia en la calidad de este producto, ya que aporta un amplio rango de nutrientes (proteínas, grasas, minerales y vitaminas), asimismo, es importante porque afecta su calidad tecnológica, higiénica, sanitaria y sensorial (Sañudo *et al.*, 1993). Los resultados de la composición química obtenidos en este trabajo se presentan en el cuadro 3.

Cuadro 3. Análisis químico proximal de carne ovina de animales finalizados en corral y finalizados en SSP

<b>Características</b> <b>(%)</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>EEM</b>
<b>MS</b>	26.94	26.76	0.46
<b>Cenizas</b>	4.50	4.81	0.29
<b>MO</b>	22.44	21.96	0.53
<b>PC</b>	18.30	17.49	1.37
<b>Grasa</b>	7.26 <sup>a</sup>	5.84 <sup>b</sup>	0.30

MS: materia seca, MO: materia orgánica, PC: proteína cruda, T1: animales finalizados en corral, T2: animales finalizados en SSP

Los resultados de grasa en carne obtenidos son menores (5.84 %) en los animales que fueron finalizados en el SSP. Resultados similares en grasa para ovinos finalizados en corral (7.5 %) son reportados por Partida y Martínez (2010) para ovinos Pelibuey alimentados con concentrados (14 % PC) atribuyendo este porcentaje directamente al peso vivo al sacrificio (PVS). Sánchez *et al.* (2010) analizaron la producción de carne de ovinos y señalan que la deposición de grasa disminuye a medida que se incrementa la proteína cruda (PC) en la dieta. También señalan que la carne de ovinos finalizados con pastos es más magra en comparación con la carne de ovinos alimentados con concentrados. Cuando la grasa abunda en la carne, bien como grasa de veteados o intermuscular modifica la reflectancia global y la apariencia de la carne. La cantidad de

grasa también tiene efectos indirectos sobre el color de la carne; por ejemplo la grasa puede retardar la penetración de oxígeno y la formación de metamioglobina.

En el cuadro 4 se presentan los resultados del rendimiento de la canal ovina. Los resultados encontrados no presentaron diferencias entre tratamientos.

Cuadro 4. Rendimiento de la canal ovina de animales finalizados en un SSP y finalizados en corral

VARIABLES	TRATAMIENTOS		EEM
	T1	T2	
<b>PVS (kg)</b>	43.52	40.52	2.5099
<b>PCC (kg)</b>	21.3	20	2.3546
<b>PCF (kg)</b>	18.93	18.06	0.8338
<b>IC (kg cm<sup>-1</sup>)</b>	0.27	0.27	2.3156

PVS: peso vivo al sacrificio, PCC: peso canal caliente, PCF: peso canal fría, IC: índice de compacidad

Resultados similares a los encontrados en este trabajo en lo que respecta al PVS son reportados por Gómez *et al.* (2014) para ovinos alimentados con concentrado a base de maíz molido y animales alimentados con *Guazima ulmifolia* (39.5 y 37.7) donde no se encontraron diferencias entre tratamientos y sugieren que en la dieta de ovinos puede



sustituirse el grano de maíz por una leguminosa, sin haber afectaciones en los parámetros productivos de la canal.

El índice de compacidad expresa los kilos de canal por unidad de longitud de la canal, los valores altos indican que la canal tiene un desarrollo muscular mayor. Los resultados encontrados en este trabajo no muestran diferencias significativas entre tratamientos. Bianchi *et al.* (2005) reporta resultados similares (0.267) en corderos F1 en finalización alimentados en pastoreo y atribuyen estos resultados a la raza y al tipo de alimentación que se proporcione a los animales.

## **Conclusiones**

La calidad de la carne y las características de la canal ovina no fueron afectadas por el tipo de alimentación, por tanto la producción de ovinos en el sistema silvopastoril es una alternativa viable, ya que no se compromete su crecimiento ni las características de las canales y la calidad de la carne.

## **Bibliografía**

- Andersen, H.R., Ingvarsen, K.C., Klastrup J. 1984. Influence of energy level, weight at slaughter and castration on carcass quality in cattle. *Livest. Prod. Sci.*, 11: 571-586.
- Arvizu R. R., Domínguez I.A., Rubio M. S., Bórquez J. L., González M., Jaramillo G. 2011. Effect of genotype, level of supplementation and organic chromium on growth, carcass and meat traits grazing lambs. *Meat Science* 88: 404-408.

- Asenjo M. B. 1999. Efecto de la raza y de la alimentación en los parámetros productivos y de calidad de canal y de carne en añojos de razas charolés y serrana soriana. Universidad de Valladolid. Tesis de doctorado. 248 pp.
- Bianchi G., Garibotto G., Bentancur O., Feed O., Franco J., Peculio A., Sañudo C. 2005. Características productivas y calidad de la canal y de la carne en corderos pesados Corriedale y Hampshire Down x Corriedale. Revista Argentina de Producción Animal 25: 75-91
- Braña V. D., Ramírez R. E., Rubio L. M., Sánchez E. A., Torrescano U. G., Arenas M. M., Partida P. J., Ponce A. E., Ríos R. F. 2011. Manual de análisis de calidad en muestras de carne. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento animal. Folleto técnico No. 11.
- Cabrera N. P., Rojas M. P., Daniel R. I., Serrano S. A., López O. M. 2007. Influencia de la suplementación sobre la ganancia de peso y calidad de la canal en borregos Dorper/Katahdin. Revista UDO Agrícola 7: 245-251.
- Cino M. D., Castillo E., Hernández J. 2006. Alternativas de ceba vacuna en sistemas silvopastoriles. Indicadores económicos y financieros. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 40: 25-29.
- Fenton T. W., Fenton M. 1979. An improved procedure for the determination of chromic oxide in feed and feces. Canadian Journal of Animal Science 59: 631-634.
- Gómez G. A., Partida H. M., Ramírez D. R., Ramírez R. J., Gómez G. J., González M. M., Sanginés G. L. 2014. Efecto de la inclusión del fruto de *Guazuma ulmifolia* como sustituto de maíz en la dieta sobre el comportamiento productivo y rendimiento en

canal de ovinos Pelibuey. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17 (2): 215-222.

Jara V. J. 2007. Efecto del pH Sobre la Conservación de Carne de Bovino de Corte Oscuro (DFD) Envasada al Vacío, Almacenada a 0°C. Universidad Austral de Chile. Tesis de doctorado. 191 pp.

Johnson J. L. 1994. Pathogen microorganisms and microbial toxins associated with muscle foods. *Muscle foods meat, poultry and seafood technology*. USA: Chapman and Hall.

Keane M.G., More O'Ferrall, G.J., Conolly J. 1989. Growth and carcass composition of Friesian, Komousin x Friesian and Blonde D'Aquitaine x Friesian steers. *Anim. Prod.* Vol. 48: 353-369.

Lawrie R. A., Ledward D. A. 2006. *Lawrie's Meat Science*. Séptima edición. Woodhead Publishing. UK.

López O., Lamela L., Sanchez T., Díaz M. 2002. Efecto del sistema silvopastoril en el comportamiento productivo de vacas Mambi en una finca lechera comercial. *Pastos y Forrajes* 25:195.

NMX-FF-106-SCFI-2006. *Productos Pecuarios -Carne de ovino en canal- Clasificación*.

O'Ferrall, G.J.M.; Keane, M.G. 1990. A comparison for live weight and carcass production of Charolais, Hereford and Friesian steer progeny from Friesian cows finished on two energy levels and serially slaughtered. *Anim. Prod.*, 50: 1, 19-28.

Partida P. J., Martínez R. L. 2010. Composición corporal de corderos Pelibuey en función de la concentración energética de la dieta y del peso al sacrificio. *Veterinaria México* 41 (3): 177-190

- Partida P. J., Braña V. D. 2011. Metodologías para la evaluación de la canal ovina. Centro Nacional de Investigación disciplinaria en Fisiología Animal. Folleto técnico No. 9.
- Partida P. J. A. 2016. Producción y calidad de la carne ovina en México. Domínguez V. I. A. (editor) Avances de investigación en tecnología y ciencia de la carne. Primera edición. Ediciones y gráficos Eón S. A. de C. V. México. pp. 27-40.
- Pérez E., Soca M., Díaz, Corzo M. 2008. Comportamiento etológico de bovinos en sistemas silvopastoriles en Chiapas, México. Pastos y forrajes 31: 161-171.
- Peri L. P. 2008. Respuesta de ovinos a pastizales creciendo en diferentes coberturas de copas en sistemas silvopastoriles de ñire (*Nothofagus antártica*) en Patagonia Sur, Argentina. Zootecnia Trop., 26: 363-366.
- Ramírez P. A. H., Buntinx S. E., Tapia R. C., Rosiles R. 2000. Effect of breed and age on the voluntary intake and the micromineral status of non-pregnant sheep. 1. Estimation of voluntary intake. Small Ruminant Research.
- Reséndiz C. V., Hernández O., Guerrero I., Gallegos J., Martínez P. A., Sánchez C. 2013. Engorda de corderos pelibuey con diferente nivel de alfalfa en la dieta. Archivos Zootecnia. 62: 457-467.
- Sánchez del R. C.; Torres, V. P. y Vergara, A. D. (2010). Propuestas de alimentación para mejorar la calidad nutricional de la carne de corderos. Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, México. pp. 22-35.
- Swatland H. J. 1991. Estructura y desarrollo de los animales de abasto. Zaragoza, España. Edit. Acribia. 373 pp.
- Warriss P. D. 2010. Meat Science. An Introductory Text. Segunda edición. Cambridge University Press. Reino Unido

## VIII. DISCUSIÓN GENERAL

Etapa 1: Las características que tienen las vermicompostas son afectados por la naturaleza del residuo orgánico que se utiliza como sustrato (Duran y Henriquez, 2007). El pH es uno de los principales indicadores del grado de estabilización de un residuo orgánico. La actividad de las lombrices modifica el pH de los sustratos haciéndolos ligeramente alcalinos, lo cual quizá se deba a la excreción de amonio en el interior del intestino o a la acción de las glándulas calcíferas que liberan Ca para equilibrar su pH (Ferrera, Alarcón, 2014). En este trabajo el valor de pH fue alcalino en los vermicompost (Ve 8.4, Vb 8.7). Durán, Henríquez (2006) reportaron similares valores de pH de 7.8 en vermicompost de estiércol bovino, relacionado con la función de las glándulas calcíferas localizadas alrededor del esófago de la lombriz, las cuales secretan carbonato cálcico y producen una digestión alcalina, obteniéndose valores de pH alcalinos. De igual forma una variación en la temperatura es un parámetro que afecta el tiempo de estabilización de los residuos; aumento de la temperatura en el presente estudio (inicial 29 °C y final 23 °C) coincide con lo encontrado por Senthil *et al.* (2013) quienes evaluaron la capacidad reproductiva de *E. fetida* durante el proceso de vermicompostaje y observaron temperaturas promedio de 23 °C, estos autores mencionan que el trabajo de la lombriz puede desarrollarse en un rango de temperatura de 20 a 29 °C.

Etapa 2: Atiyeh *et al.* (2002), afirman que los residuos orgánicos vermicomposteados tienen efectos benéficos sobre el crecimiento de la planta presentando mejora consistente desde el proceso de la germinación de la semilla, incrementando el crecimiento y desarrollo de las plántulas y una creciente productividad debido a la conversión de los elementos minerales en formas más accesibles para la planta. Entre tratamientos y d de evaluación existió diferencias significativas ( $p=0.0001$ ). La *L*

*leucocephala* presentó mayor altura ( $p < 0.0001$ ) en el T1 respecto al T2 de los 60 a 240 d. La cobertura aérea fue mayor en el T1 a partir de los 150-240 días ( $p < 0.0001$ ). El número de brotes fue mayor en el T1 a partir de los 180-240 días. La asociación de *Leucaena leucocephala* dentro de los SSP juega un papel muy importante debido a que provee un forraje rico en nutrientes, especialmente en proteína, vitaminas y minerales, por lo que se considera un forraje de excelente calidad para los animales en pastoreo.

Etapa 3: Existen factores intrínsecos y extrínsecos que modifican las propiedades de una canal. Uno de los factores que tienen mayor influencia sobre la calidad de la carne es la alimentación, en ese sentido los sistemas silvopastoriles son de gran importancia debido a su mayor potencial productivo, su disponibilidad en periodos de sequias y elevado valor nutritivo (López *et al.*, 2002). La GDP no presentó diferencias entre tratamientos, los valores son diferentes a los reportados por Ortiz *et al.* (2014) en ovinos pastoreados en pradera de monocultivo ( $113.6 \text{ g d}^{-1}$ ), o en una pradera de *Leucaena* asociada con un pasto tropical ( $112.4 \text{ g d}^{-1}$ ). El CMS no presento diferencias entre tratamientos; los resultados encontrados en este trabajo son diferentes a los reportados por Valenzuela (2013) en ovinos alimentados en pradera de monocultivo y en SSP ( $663.8$  y  $707.2 \text{ g d}^{-1}$  respectivamente), estos resultados se atribuyen a la disponibilidad de forraje, ya que una disponibilidad mayor de forraje estimula el consumo. Por lo tanto, en el SSP la alimentación proporcionó los nutrientes necesarios para la época de estiaje sin afectar el crecimiento de los ovinos, de igual forma Cino *et al.* (2006), Pérez *et al.* (2008) y Peri (2008), hacen hincapié en el uso de sistemas silvopastoriles para lograr una mejora en la calidad de la canal de los ovinos.

## IX. CONCLUSIONES

Los efectos benéficos (físicos, químicos y biológicos) de la fertilización orgánica con vermicomposta se reflejan al mejorar las propiedades y estructura del suelo, con mayor disponibilidad de nutrientes para el crecimiento de las plantas y una mayor población microbiana en el suelo, la cual participa como un regulador de crecimiento de *L. leucocephala*.

El establecimiento de SSP con *Leucaena leucocephala* es una alternativa viable para reducir el uso y costos de insumos externos, como el grano de maíz, además de brindar servicios ambientales en el sur del Estado de México.

La producción de ovinos en el sistema silvopastoril es una alternativa viable, sin comprometer su crecimiento, las características de las canales y la calidad de la carne.

## X. LITERATURA CITADA

- AOAC. (2007). Official methods of analysis of AOAC international. 18th ed. Washington: Association of Official Analytical Chemists.
- Aira, M. and J. Domínguez. 2009. Microbial and nutrient stabilization of two animal manures after the transit through the gut of the earthworm *Eisenia fetida* (Savigny, 1826). J Hazard Mater. 161: 1234-1238.
- Ajwa A., y Tabatabai M. 1994. Decomposition of different organic materials in soils. Biol. Fertil. Soils. 18:175-182.
- Alcalde, M.J., Sañudo, C., Osorio, J.C., Olleta, J.L. and Sierra, I. (1995) Evaluación de la calidad de la canal y de la carne en canales del tipo "ternasco. ITEA, 95: 49-64.
- Alonso D. M., Torres A. J., Sandoval C. C., Hoste H. 2010. Tannins in tropical tree fodders fed to small ruminants: A friendly foe?. Small Ruminant Research 89: 164-173.
- Alonso J. 2011. Los sistemas silvopastoriles y su contribución al ambiente. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 45: 107-115.
- AMSA. 1995. Research guidelines for cookery, sensory evaluation and instrumental tenderness measurements of fresh meat. American Meat Science, Association & National Livestock and Meat Board. Chicago, USA.
- Bacab, H. M. y Solorio, F. J. (2011). Oferta y consumo de forraje y producción de leche en ganado de doble propósito manejado en sistemas silvopastoriles en Tepalcatepec, Michoacán. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 13: 271-278.
- Barahona, R., Sánchez, MS., Murgueitio, E. & Chará, J. 2014. Contribución de la *Leucaena leucocephala* Lam (de Wit) a la oferta y digestibilidad de nutrientes y las emisiones de metano entérico en bovinos pastoreando en sistemas silvopastoriles intensivos. En: Premio Nacional de Ganadería José Raimundo Sojo Zambrano,



modalidad Investigación Científica. Bogotá, Colombia, Revista Carta Fedegán 140:66-69.

Barros R. M., Briceño P. E., Canul S. J., Sandoval C. C., Solorio S. J., Ku V. J. 2012. Sistemas Silvopastoriles con *Leucaena leucocephala* como alternativa en la producción ovina. Bioagrobiencias 5 (2): 21-25.

Bautista T. M.; López O. S; Pérez H. P.; Vargas M. M.; Gallardo L. F. ; Gómez M. F. 2011. Sistemas Agro y Silvopastoriles en la comunidad El Limón, Municipio de Paso de Ovejas, Veracruz, México. Tropical and Subtropical Agroecosystems, vol. 14 (1): 63-76.

Bernal M.P., Albuquerque J.A., Moral R. 2009. Composting of animal manure and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. Bioresour Technol. 100, 5444-5453.

Boari R, Chuard N, Fernández V, Pouiller P. Mercado de ganados y carnes. Proyecciones 2023. OCDE-FAO 2014. [http://www.agroindustria.gob.ar/site/ganaderia/bovinos/05=Mercados/04=Carnes/\\_archivos/000003=Mercado%20internacional%20de%20carnes/000001Proyecci%C3%B3n%20OCDE%20FAO%20carnes%202014-2023.pdf](http://www.agroindustria.gob.ar/site/ganaderia/bovinos/05=Mercados/04=Carnes/_archivos/000003=Mercado%20internacional%20de%20carnes/000001Proyecci%C3%B3n%20OCDE%20FAO%20carnes%202014-2023.pdf). Consultado May 25, 2018.

Bueno L., Camargo J. 2015. Nitrógeno edáfico y nodulación de *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit en sistemas silvopastoriles. Acta agronómica 64 (4) p 349-354.

Calsamiglia S., Ferret A., Reynolds C., Kristensen N., Van V. 2010. Strategies for optimizing nitrogen use by ruminants. Anima 4: 1184-1196.

Chaoui H.I., L.M. Zibilske y T. Ohno. 2003. Effects of earthworm cast and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability. Soil Biol. Biochem. 35:295-302.

- Chará J., Murgueitio E., Zuluaga A., Giraldo C. 2011. Ganadería colombiana sostenible. Mainstreaming. Biodiversity in sustainable cattle ranching. Fundacion CIPAV. P.158.
- CIPAV. Centro para la Investigación en sistemas sostenibles de producción agropecuaria. Sistemas Silvopastoriles en la cuenta del Río Guacha. <http://silvopastorilguacha.wordpress.com>, consultado 15 de mayo 2018.
- CONAFOR. Comisión Nacional Forestal. 2010. Paquete tecnológico. Sistemas Silvopastoriles. Transferencia de tecnología.
- Dijkman, M. J. 1980. *Leucaena*. A promising soil-erosion control plant. Econ. Bot. 4: 337-349.
- Estrada L. I.; Portillo A. B.; Yong A. G. y García M. A. 2017. Evaluación financiera de una unidad de producción de bovinos doble propósito bajo silvopastoreo intensivo en Apatzingán, Michoacán, México. XLIV Reunión Científica AMPA 2017, Clima y Ganadería: Productividad Sustentable. Chiapas, México, pp. 857-862.
- FAO y GIZ. 2012. Herramientas para la adaptación y mitigación del cambio climático en el sector agropecuario. Resultados del taller práctico.
- Fenton T. W., Fenton M. 1979. An improved procedure for the determination of chromic oxide in feed and feces. Canadian Journal of Animal Science 59: 631-634.
- Galaviz, R. J. R., L. S. Vargas, R. J. L. Zaragoza, G. A. Bustamante, B. E. Ramírez, R. J. D. Guerrero, Z. J. S. Hernández. 2011. Evaluación territorial de los sistemas de producción ovina en la región nor-poniente de Tlaxcala. Rev. Mex. Cienc. Pec. 2(1): 53-68.

- Gallo C. 1992. Efecto del manejo pre y post faenamiento en la calidad de la carne. Serie Simposios y Compendios de la Sociedad Chilena de Producción Animal vol.2: 27-47.
- García, D. E., H. B. Wencomo, M. E. Gonzales, M. G. Medina, L. J. Cova, y I. Spengler. 2008. Evaluación de diecinueve accesiones de *Leucaena leucocephala* en la calidad nutritiva del forraje. *Zootecnia Tropical* 26: 9-18.
- Gaspar, P., M. Escribano, F. J. Mesias, F. Rodríguez–Ledesma, F. Pulido. 2008. Sheep farms in the Spanish rangelands (dehesas): Typologies according to livestock management and economic indicators. *Small Rum. Res.* 74: 52- 63.
- Gaviria X., Sossa P., Montoya C., Chará J., Lopera J., Córdoba P., Barahona R. 2012. Memorias: Producción de carne bovina en sistemas silvopastoriles intensivos en el Trópico bajo Colombiano.VII Congreso Latinoamericano de Sistemas Agroforestales para la producción animal sostenible. Brasil.
- González P. J., Alcaraz V. J. 2013. Cultivo y costos de un sistema silvopastoril intensivo (SSPi) a base de gramíneas y *Leucaena leucocephala* estudio de caso en Tepalcatepec, Michoacán, México. *Rev Inves Cienc Admin*, 8 (15): 277-292.
- González G. R.; Blardony R. K.; Ramos J. J.; Ramírez H. B.; Sosa R.; Gaona P. M. 2013. Rentabilidad de la producción de carne de ovinos Katahdin x Pelibuey con tres tipos de alimentación. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 17 (1): 135-148
- GuhaRay, A. and Baidya, D.K. (2015). "Reliability based Analysis of Cantilever Sheet Pile Walls backfilled with different soil types using Finite Element Approach." *International Journal of Geomechanics*, ASCE, doi 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000475, 06015001, 1-11.

- Gutiérrez, M. A.; Rodríguez, G. E. 1984. *Leucaena leucocephala* planta promisorio para producir en el trópico proteína para el ganado. Zootecnia. Universidad de San Carlos, Guatemala 5(1): 3-7.
- Hernández A., Hernández A., Rivera C., Arras M., Ojeda D. 2013. Calidad nutrimental de cuatro abonos orgánicos producidos a partir de residuos vegetales y pecuarios. Terra Latinoamericana 31 (1) 35-46.
- Hernández M. J., Sánchez S. P., Torres S. N., Herrera P. J., Rojas G. A., Reyes V. I., Mendoza N. M. 2017. Composición química y degradaciones in vitro de vainas y hojas de leguminosas arbóreas del trópico seco de México. Rev Mex Cienc Pec 9(1): 105-120.
- Hutton, E.M. 1975. *Leucaena leucocephala*. CSIRO. Trop. Ann. Rep. pág. 55
- Hodges J. 2003. Livestock, ethics and quality of life. J. Anim. Sci. 81:2887-2894.
- INEGI (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos San Simón de Guerrero, México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Prontuario. México D.F. 9 pp.
- Kú V. J., Ramírez A. L., Jiménez F. G., Alayón A. J., Ramírez C. L. 1999. Árboles y arbustos para la producción animal en el trópico mexicano. En: Sánchez MD, Rosales MM editores. Agroforestería para la producción animal en América latina.
- Ku-Vera J. C., Ayala B. A., Solorio S. F. J., Briceño-Poot E. G., Ruiz G. A., Piñeiro V. A., Barros R. M., Soto A. M., Espinosa H. J. C., Albores M. S., Chay-Canul A. J., Aguilar P. C. F. and Ramírez A. L. 2013. Tropical tree foliages and shrubs as feed additives in ruminants rations. En: Salem (ed). Nutritional Strategies of Animal Feed Additives. New York. USA: Nova Science Publishers.

- Ku Vera, J.C.; Briceño, E.G.; Ruiz, A.; Mayo, R.; Ayala, A.J.; Aguilar, C. F.; Solorio, F.J.;  
Ramírez, L. 2014. Manipulación del metabolismo energético de los rumiantes en  
los trópicos: opciones para mejorar la producción y la calidad de la carne y leche  
Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 48 (1): 43-53.
- Lazcano, C., B. M. Gómez, and J. Domínguez. 2008. Comparision of effectiveness of  
composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure.  
Chemo. 72: 1013-1019.
- Lobo P. M. 2006. Leguminosas forrajeras arbustivas en sistemas de producción bovina.  
Costa Can. Imprenta Nacional, Costa Rica.
- López C., Ruelas D., Sañudo R., Armenta C., Félix J. 2013. Influence of different organic  
substrates on earthworm (*Eisenia foetida*). Tecnociencia Chihuahua. Vol. VII, No. 2.
- Marinidou E., Finegan B., Jiménez F. G., Delgado D., Casanoves F. 2013. Concepts and  
a methodology for evaluating environmental services from trees of small farms in  
Chiapas, México. Journal of Environmental Management. 114: 115-124
- Marschner, P., E. Kandeler, y B. Marschner. 2003. Structure and function of the soil  
microbial community in a long-term fertilizer experiment. Soil Biol. Biochem.  
35:453-461.
- Molina C. H., Molina E. J., Giraldo, C., Calle Z. & Murgueitio E. 2011. Resiliencia de los  
sistemas silvopastoriles intensivos a los efectos de cambio climático en el Valle del  
Cauca, Colombia. 3° Congreso sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos para la  
ganadería sostenible del siglo XXI. Morelia, Michoacán, México, p. 208-214
- Montagnini F., Finney C. 2011. Payments for environmental services in Latin America as  
tool for restoration and rural development. Ambio 40: 285-297.

- Montero L. M., Juárez L. F., García-G. H. 2011. Perfil de ácidos grasos en carne de toretes Europeo x Cebú finalizados en pastoreo y en corral. Rev. Mex. Cienc. Pecu. 2(2):137-149
- Morales C., Fernández A., Montiel C., Peralta B. 2009. Evaluación de sustratos orgánicos en la producción de lombricomposta y el desarrollo de la lombriz (*Eisenia foetida*). BIOtecnia XI (1): 19-26.
- Muchenje, V., k. Dzama, M. Chimonyo, P. E. Strydom, A. Hugo y J. G: Raats. 2009. Some biochemical aspects pertaining to beef eating quality. Food Chemistry 112:279-289.
- Murgueitio, E. y Solorio, B. 2008. El Sistema Silvopastoril Intensivo, un modelo exitoso para la competitividad ganadera en Colombia y México. En: V Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la Producción Pecuaria Sostenible. Universidad Rómulo Gallegos, Universidad Central de Venezuela, Universidad de Zulia. Venezuela (Publicación electrónica).
- Murgueitio E., Naranjo J., Cuartas C., Molina C., Lalinde F. 2009. Los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) una herramienta de desarrollo rural sustentable con adaptación al cambio climático en regiones tropicales de América. Memorias II Congreso sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos, en camino hacia núcleos de ganadería y bosques. Morelia, Michoacán. Fundación Produce Michoacán.
- Murgueitio E., Uribe F., Calle A., Solorio B. 2011. Native trees and shrubs for reproductive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. For. Eco. Manage. 261: 1654-1663.
- Murgueitio E., Uribe F., Tafur O. 2013. Los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPI) en el trópico húmedo: reconversión ambiental con producción ganadera rentable. Memorias de foros FEDEGAN. Nutrición animal. Florencia, Caquetá.

- Murgueitio E., Chará J., Barahona R., Cuartas C., Naranjo J. 2014. Los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPI) herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 17: 501-507.
- Murgueitio, E., Flores, M., Calle, Z., Chará, J., Barahona, R., Molina, C., & Uribe, F. 2015. Productividad en sistemas silvopastoriles intensivos en América Latina. In: Montagnini, F., Somarriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H. & Eibl, B. (Eds.). *Sistemas Agroforestales. Funciones productiva, socioeconómica y ambientales. Serie Técnica Informe Técnico 402*, CATIE, Turrialba, Costa Rica. Fundación CIPAV. Cali, Colombia. P. 59-101
- Murray R., Bojorquez J., Hernández A., Orozco M., García J., Gómez R., Ontiveros H., Aguirre J. 2011. Efecto de la materia orgánica sobre las propiedades físicas del suelo en un sistema agroforestal de la llanura costera norte de Nayarit, México. *Revista biociencias* Vol. 1 Núm. 3 Año 2 Pág. 27-35.
- Naranjo F., Cuartas A. Murgueitio E., Chará J., Barahona R. 2012. Balance de gases de efecto invernadero en sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* en Colombia. *Livest Res Rural Dev*; 24 (8).
- Nardone A., Ronchi B., Lacetera N., Ranieri M., Bernabucci U. 2010. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livestock Science* 130: 57-69.
- Orellana, C., F. Peña, A. García, J. Perea, J. Martos, V. Domenech y R. Acero. 2009. Carcass characteristics, fatty acid composition, and meat quality of criollo Argentino and Braford steers raised on forage in a semitropical region of Argentina. *Meat Science*. 81:57-64.

NMX-FF-109-SCFI-2007: Humus de lombriz (lombricomposta)-Especificaciones y métodos de prueba.

Padre, G. R., J. A. Aricetti, F. B. Moreira, I. Y. Mizubutí, I. N. Prado, J. V. Visentainer, N. E. de Souza, M. Matsushita. 2006. Fatty acid profile and chemical composition of Longissimus muscle of bovine steers and bull finished in pasture system. *Meat Science*. 74:242-248.

Palmer L. 2014. A new climate for grazing livestock. *Nature Climate Change*. 4:321–323.

Partida, P. J. A., V. D. Braña, S. H. Jiménez, R. F. G. Ríos, R. G. Buendía. 2013. Producción de Carne Ovina. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal. Ajuchitlán, Qro. Libro Técnico INIFAP. 5: 4, 5, 23, 67.

Ramírez P. A. H., Buntinx S. E., Tapia R. C., Rosiles R. 2000. Effect of breed and age on the voluntary intake and the micromineral status of non-pregnant sheep. 1. Estimation of voluntary intake. *Small Ruminant Research*.

Ramírez, A.L., Petit, A.J. & Ku, V.J. 2009. Producción ovina en sistemas agroforestales en el trópico. XIV Congreso Latinoamericano de Buiatría. Lima, Perú.

Richardson A. 2009. *Leucaena* and rotational grazing at Ten Mile. *Tropical Grasslands*. 43: 225- 226.

Rivera, J.; Molina, I. C.; Donney's, G.; Villegas, G.; Chará, J. & Barahona-Rosales, R. 2015. Dinámica de fermentación y producción de metano en dietas de sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* y sistemas convencionales orientados a la producción de leche. *LRRD*. 27 (4).<http://www.lrrd.org/lrrd27/4/rive27076.html>.



- Rodríguez C. A. 2013. Sostenibilidad y competitividad de sistemas de producción de pequeños rumiantes. *Rev Colomb Cienc Pecu* 26:278-283.
- Rotondo R., Firpo I. T., Ferreras L., Toresani S., Fernández S., Gómez E. 2009. Efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas y fertilizante nitrogenado sobre propiedades edáficas y productividad en cultivos hortícolas. *Horticultura Argentina* 28(66): May.-Ago
- Saavedra C. E, Rodríguez N. M., De Sousa N. M. 1980. Producción de forraje, valor nutritivo y consumo de *Leucaena leucocephala*. *Pasturas tropicales* 9 (2): 6-10
- SAGARPA. Plan rector sistema productivo ovinos (2015-2024). 2016. Secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación (SAGARPA). Estudio informativo. 47 pp.
- SAGARPA. 2017. Secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación (SAGARPA). Apoyo congreso ovino – Senado de la república.
- Salazar, S., Trejo, E., Vázquez, V., López, M., Fortis, H., Zuñiga, T., Amado, A. (2009). Distribución de nitrógeno disponible en suelo abonado con estiércol bovino en maíz forrajero. *Terra Latinoamericana* 27: 373–382.
- SIAP. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2017. Producción pecuaria nacional (ovinos).
- Solorio, S. F.J., Bacab, P. H., Castillo, C. J.B., Ramírez, A. L. y Casanova, L F. 2009. Potencial de los Sistemas Silvopastoriles en México. II Congreso sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida Yucatán, México. 10 pp.
- Solorio, F. J.; Bacab, H. M. y Ramírez, A. L. (2011). Los sistemas silvopastoriles intensivos: avances de investigación en el valle de Tepalcatepec, Michoacán. En:

*Memorias del III Congreso sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos*. Morelia y Tepalcatepec, Michoacán. México. pp. 17-31.

Steinfeld H., Gerber P., Wassenaar T., Castel V., Rosales M., Haan C. 2009. La larga sombra del Ganado. Problemas ambientales y soluciones. LEAD – FAO. Viale delle Terme di Caracalla, Roma, p. 464.

Uribe, F., Zuluaga, A. F., Valencia, L., Murgueitio, E., Zapata, A. & Solarte, L. 2011. Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles. Manual 1. Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible (en línea). Bogotá, Colombia, GEF, The World Bank, FEDEGAN, CIPAV, Fondo Acción, TNC. 78 p.

Villanueva C., Ibrahim M., Casasola F., Ríos N., Sepúlveda C. 2008. Sistemas silvopastoriles: una herramienta para la adaptación al cambio climático de las fincas ganaderas en América Central. Manual buenas prácticas agrícolas para la adaptación al cambio climático, capítulo 6.

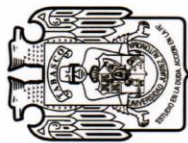
Wanapat, M. 2009. Potential uses of local feed resources for ruminants. *Tropical Animal Health and Production* 41: 1035-1049.

Yepes, S. 1974. Características botánicas de las principales leguminosas tropicales de pastoreo. *Ciencias Agropecuarias. Serie 1. Ing. Agronómica* No. 15

Wencomo Hilda B. 2008. Evaluación morfoagronómica e isoenzimática y selección de accesiones de *Leucaena* spp. con fines silvopastoriles. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. EEPF Indio Hatuey, Matanzas, Cuba. 106 p.

Zervas, G., E. Tsiplakou. 2011. The effect of feeding systems on the characteristics of products from small ruminants. *Small Rum. Res.* 101: 140-149.

## **XI. ANEXOS**



# Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

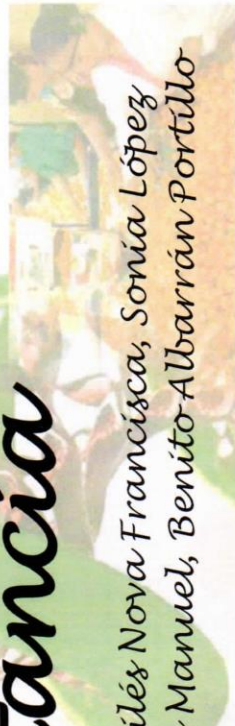
## División Académica de Ciencias Agropecuarias

IV Congreso Internacional de Agronomía Tropical



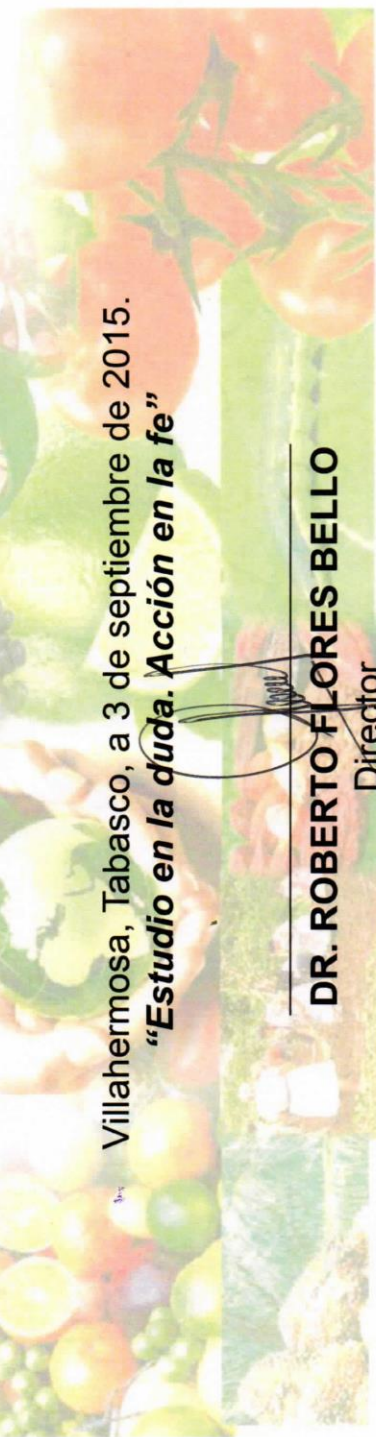
Otorga la presente

# Constancia



A: *Vianey Colín Navarro\**, *Avilés Nova Francisca*, *Sonia López Fernández*, *Ríos García Luis Manuel*, *Benito Albarrán Portillo*

Por su participación con la ponencia "Caracterización química de lombricompost de dos sustratos orgánicos: heces bovinos y equinos"

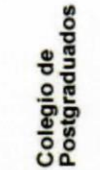


Villahermosa, Tabasco, a 3 de septiembre de 2015.

**"Estudio en la duda. Acción en la fe"**

**DR. ROBERTO FLORES BELLO**

Director





# LI Reunión Nacional de INVESTIGACIÓN PECUARIA



Registro CONSERVET: GEN 040/15

El Comité Organizador de la  
LI Reunión Nacional de Investigación Pecuaria  
otorga la presente

## CONSTANCIA

a

Colín NV, Avilés-Nova F, Grenón CGN, Serrato CR, Ríos GLM, Albarrán PB.

Por su ponencia en formato CARTEL con título:

DINÁMICA POBLACIONAL DE LA LOMBRIZ ROJA (EISENIA FOETIDA ) EN DOS  
SUSTRATOS ORGÁNICOS: COMPOSTA DE HECES DE BOVINOS Y DE EQUINOS.



**Toluca 2015**  
ESTADO DE MÉXICO  
25- 27 de noviembre de 2015  
Toluca de Lerdo, Estado de México

*[Signature]*  
**Dr. Luis Fernando Flores Lui**  
Presidente del Comité Organizador

*[Signature]*  
**Dr. en D. Jorge Olvera García**  
Vicepresidente del Comité Organizador

**Innovación sustentable para el sector pecuario**



GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO





# LIII Reunión Nacional de Investigación Pecuaria Acapulco 2017



**GUERRERO**  
NOS NECESITA A TODOS

*Ciencia y Tecnología para la Ganadería Tropical Mexicana*

El Comité Organizador otorga la presente

## CONSTANCIA

a

Colín NV, Avilés NF, Domínguez VIA, Olivares P.J.

por su ponencia, en formato ORAL, titulada:

**COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y CALIDAD DE LA CARNE DE  
OVINOS FINALIZADOS EN UN SISTEMA SILVOPASTORIL vs  
CORRAL CON ALIMENTO ELABORADO.**

**Acapulco de Juárez, Guerrero, México.  
Noviembre 15 a 17 de 2017**



Código GEN 034/17

**M.C. Jorge Fajardo Guel**  
El Coordinador General



SAGARPA



Secretaría de  
**Agricultura, Ganadería,  
Pesca y Desarrollo Rural**



**UAGro**  
Universidad Autónoma de Guerrero

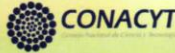


**Colegio de  
Postgraduados**

**inifap**  
Instituto Nacional de Investigación  
Forestal, Agrícola y Pecuaria



**REDGATRO**  
Red de Investigación y Promoción Tecnológica  
para la Ganadería Bovina Tropical



**CONSEJO TÉCNICO  
CONSULTIVO  
NACIONAL DE  
SANIDAD ANIMAL**



Fundación  
**Produce de Guerrero, A.C.**



**CONSTRUYENDO EL Futuro**  
**ACAPULCO**  
FORO NACIONAL 2017 - 2018



Presente Apoyo al  
**Extensionismo Rural**  
de la SAGARPA

[www.uagro.mx](http://www.uagro.mx)



# LIII Reunión Nacional de Investigación Pecuaria Acapulco 2017



**GUERRERO**  
NOS NECESITA A TODOS

*Ciencia y Tecnología para la Ganadería Tropical Mexicana*

El Comité Organizador otorga la presente

## CONSTANCIA

a

Colín NV, Avilés NF, Domínguez VIA, Olivares PJ, Serrato CR.

por su ponencia, en formato ORAL, titulada:

**EFEECTO DE LA DIETA SOBRE LA TASA DE CRECIMIENTO Y  
REPRODUCCIÓN DE *Eisenia fetida* L. EN EL SUR DEL ESTADO  
DE MÉXICO.**

**Acapulco de Juárez, Guerrero, México.  
Noviembre 15 a 17 de 2017**



Código GEN 034/17

**M.C. Jorge Fajardo Guel**  
El Coordinador General



[www.uagro.mx](http://www.uagro.mx)



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS


DES: CIENCIAS AGROPECUARIAS

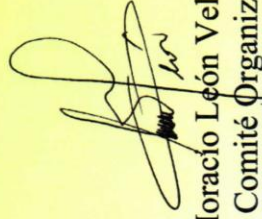


# Constancia

## Vianey Colín Navarro

Como **PONENTE ORAL** en la Reunión Científica de la Asociación Mexicana para la Producción Animal y Seguridad Alimentaria, que se llevó a cabo del 6 al 8 de septiembre de 2017, con sede en la Universidad Autónoma de Chiapas, en la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

  
Dr. Juan Carlos Ku Vera  
Presidente AMPA A.C.

  
Dr. Horacio León Velasco  
Presidente Comité Organizador local

XL años de educación veterinaria en Chiapas





CONGRESO INTERNACIONAL  
DE LAS CIENCIAS AGROPECUARIAS  
**AGROCIENCIAS 2017**

20-24 de noviembre de 2017  
La Habana, Cuba

Estimado (a) **Francisca Avilés Nova**

Por medio de la presente el comite organizador del Congreso Agrociencias 2017 le informa que su trabajo titulado:

**EFFECTO DE LA ALIMENTACIÓN SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL Y CALIDAD DE LA CARNE OVINA.**

Fué aceptado para su presentación en modalidad de:

- Conferencia
- Exposición Oral
- Poster

Le recordamos que nos puede enviar el trabajo completo para su publicación en las memorias electrónicas del evento en el formato que le adjuntamos.

Se le informa además que puede realizar el pago de la cuota de inscripción y el hospedaje en nuestra pagina web [www.agrocienciascuba.com](http://www.agrocienciascuba.com).

En el caso de la cuota de inscripción se dispone de un precio promocional para los que cancelen la misma antes del 31 del agosto

Saludos Cordiales!

Dr.C. Miguel Pérez Ruano

Secretario Científico  
AGROCIENCIAS 2017