



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

**COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE  
COMPOSTAS ELABORADAS CON HECES DE BOVINOS, CAPRINOS,  
EQUINOS Y OVINOS DURANTE LAS ESTACIONES DEL AÑO**

# TESIS

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

**PRESENTA:**

**SONIA LÓPEZ FERNÁNDEZ**

Temascaltepec, Estado de México, México, Octubre 2016

# CONTENIDO

DEDICATORIA .....	I
AGRADECIMIENTOS .....	V
CONTENIDO .....	VI
ÍNDICE DE CUADROS .....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	IX
RESUMEN.....	X
ABSTRACT.....	XIII
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 CONCEPTOS BÁSICOS EN LA DEGRADACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS .....	4
2.2 DESECHOS ORGÁNICOS BIODEGRADABLES.....	5
2.3 PROCESO DE COMPOSTAJE.....	5
2.3.1 <i>Tipos de compostaje</i> .....	6
2.3.1.1 Compostaje aeróbico .....	6
2.3.1.2 Compostaje anaeróbico .....	8
2.3.2 <i>Técnica de elaboración de las compostas aeróbicas</i> .....	8
2.3.3 <i>Factores a considerar en la elaboración de la composta</i> .....	9
2.3.3.1 Sustratos .....	9
2.3.3.2 Temperatura .....	10
2.3.3.3 Humedad.....	11
2.3.3.4 Aireación .....	12
2.3.3.5 Relación carbono/nitrógeno .....	13
2.4 MADURACIÓN, ESTABILIZACIÓN Y CONTENIDO NUTRICIONAL DE LA COMPOSTA .....	14
2.4.1 <i>Criterios de maduración y estabilización</i> .....	14
2.4.2 <i>Contenido nutrimental</i> .....	15
2.5 NORMATIVIDAD .....	16
2.6 UTILIZACIÓN DE LAS COMPOSTAS .....	19
2.7 BIBLIOGRAFÍA .....	21
III. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN .....	26
3.1 JUSTIFICACIÓN.....	26
3.2 HIPÓTESIS .....	27
3.3 OBJETIVOS.....	27
3.3.1 <i>Objetivo general</i> .....	27
3.3.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	27
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
4.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	28
4.2 RESIDUOS ORGÁNICOS .....	28
4.3 METODOLOGÍA GENERAL.....	29
4.3.1 <i>Etapa 1. Compostaje de verano</i> .....	30
4.3.1.1 Elaboración de las pilas de compostaje .....	30

4.3.1.2 Variables analizadas en heces y composta.....	31
4.3.1.3 Diseño experimental.....	32
<b>4.3.2 Etapa 2. Compostaje de otoño-invierno.....</b>	<b>32</b>
4.3.2.1 Tratamientos.....	32
4.3.2.2 Variables analizadas .....	33
4.3.2.3 Análisis Estadístico.....	34
<b>4.3.3 Etapa 3. Compostaje de primavera.....</b>	<b>35</b>
4.3.3.1 Tratamientos.....	35
4.3.3.2 Mediciones durante el proceso .....	37
4.3.3.3 Mediciones en las compostas .....	38
4.3.3.3.1 Análisis químico .....	38
4.3.3.3.2 Análisis microbiológico.....	39
4.3.3.3.3 Índice de germinación .....	39
4.3.3.4 Análisis estadístico .....	39
<b>4.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO GENERAL.....</b>	<b>40</b>
<b>V. RESULTADOS.....</b>	<b>42</b>
<b>5.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE COMPOSTAS ELABORADAS CON HECES DE ORIGEN PECUARIO.....</b>	<b>42</b>
<b>5.1.1 Portada e índice de memoria electrónica del IV congreso Internacional de Agronomía Tropical.....</b>	<b>42</b>
<b>5.1.2 Resumen.....</b>	<b>44</b>
<b>5.1.3 Abstract.....</b>	<b>45</b>
<b>5.1.4 Introducción.....</b>	<b>46</b>
<b>5.1.5 Materiales y Métodos.....</b>	<b>47</b>
<b>5.1.6 Resultados.....</b>	<b>49</b>
<b>5.1.7 Conclusiones.....</b>	<b>54</b>
<b>5.1.8 Bibliografía.....</b>	<b>54</b>
<b>5.2 COMPARACIÓN DE DOS MÉTODOS DE VENTILACIÓN EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE COMPOSTS DE ESTIÉRCOLES PECUARIOS.....</b>	<b>58</b>
<b>5.2.1 carta de aceptación.....</b>	<b>58</b>
<b>5.2.2 Resumen.....</b>	<b>59</b>
<b>5.2.3 Abstract.....</b>	<b>59</b>
<b>5.2.4 Introducción.....</b>	<b>60</b>
<b>5.2.5 Materiales y Métodos.....</b>	<b>61</b>
<b>5.2.6 Resultados.....</b>	<b>64</b>
<b>5.2.7 Conclusiones.....</b>	<b>68</b>
<b>5.2.7 Bibliografía.....</b>	<b>72</b>
<b>5.3 OTROS RESULTADOS .....</b>	<b>75</b>
<b>VI. DISCUSIÓN GENERAL .....</b>	<b>80</b>
<b>VII. CONCLUSION GENERAL.....</b>	<b>83</b>

# ÍNDICE DE CUADROS

## Cuadros en Revisión de Literatura y Materiales y Métodos

CUADRO 1. FASES Y MICROORGANISMOS PRESENTES EN EL COMPOSTAJE.....	6
CUADRO 2. EMISIONES DE NH <sub>3</sub> Y N <sub>2</sub> O EN ESTIÉRCOL DE VACA Y PAVO. ....	9
CUADRO 3. COMPARACIÓN DE RESULTADOS EN EL COMPOSTAJE DE ESTIÉRCOL BOVINO. ....	16
CUADRO 4. CARACTERÍSTICAS GENERALES QUE DEBEN CUMPLIR LOS TIPOS DE COMPOSTAS. ....	17
CUADRO 5. CONCENTRACIONES MÁXIMAS DE ELEMENTOS TRAZA EN MG·KG <sup>-1</sup> EN BASE SECA, QUE DEBEN CUMPLIR LOS TIPOS DE COMPOSTA. ....	18
CUADRO 6. REQUISITOS QUÍMICOS Y SANITARIOS PARA LOS MEJORADORES DE SUELO.....	18
CUADRO 7. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE METALES PESADOS EN MEJORADORES DE SUELO. ....	19
CUADRO 8. ALIMENTACIÓN DE LAS ESPECIES PECUARIAS DURANTE EL PERÍODO DE ESTIAJE Y LLUVIAS.....	29

## Cuadros en Resultados

### Apartado 5.1

CUADRO. 1. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LAS HECES PECUARIAS.....	49
CUADRO. 2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE COMPOSTAS ELABORADA CON HECES PECUARIAS DURANTE 45 DÍAS. ....	52
CUADRO. 3. MICROELEMENTOS CONTENIDOS EN LAS HECES Y COMPOSTAS DE BOVINOS, CAPRINOS, EQUINOS Y OVINOS. ....	53

### Apartado 5.2

CUADRO I. ANÁLISIS QUÍMICO DE LOS ESTIÉRCOLES MEZCLADOS. ....	70
CUADRO II. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS COMPOSTS DURANTE UN PROCESO DE COMPOSTAJE DE 45 DÍAS. ....	71

### Apartado 5.3

CUADRO 1. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E ÍNDICE DE GERMINACIÓN DE LAS COMPOSTAS OBTENIDAS DE HECES PECUARIAS EN PRIMAVERA. ....	77
CUADRO 2. CORRELACIÓN LINEAL ENTRE LAS VARIABLES ANALIZADAS EN LA COMPOSTA OBTENIDA A PARTIR DE HECES PECUARIAS DURANTE LA PRIMAVERA.....	78
CUADRO 3. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LAS COMPOSTAS OBTENIDAS DURANTE LAS ESTACIONES DEL AÑO....	79

# ÍNDICE DE FIGURAS

## Figuras en Materiales y Métodos.

FIGURA 1. PILAS DE COMPOSTAJE EN VERANO.....	30
FIGURA 2. MEDICIONES DE TEMPERATURA Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....	31
FIGURA 3. PILAS DE COMPOSTAJE CON DOS MÉTODOS DE VENTILACIÓN: MANUAL Y CON TUBOS.....	33
FIGURA 4. PILAS DE COMPOSTAJE EN EL PERÍODO DE PRIMAVERA DE 2015.....	36
FIGURA 5. MÉTODO DE VENTILACIÓN MANUAL.....	36
FIGURA 6. MÉTODO DE VENTILACIÓN CON TUBOS.....	37
FIGURA 7. ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS COMPOSTAS (LECTURA EN ESPECTROFOTÓMETRO).....	40
FIGURA 8. ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS COMPOSTAS (TITULACIÓN).....	41
FIGURA 9. PRUEBA DE GERMINACIÓN EN LAS COMPOSTAS.....	41

## Figuras en Resultados.

### Apartado 5.1

FIGURA 1. TEMPERATURA DE LOS TRATAMIENTOS DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE.....	50
FIGURA 2. VALORES DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y PH EN LOS TRATAMIENTOS.....	51

### Apartado 5.2

FIGURA 1. COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA DURANTE LOS DÍAS (D) DEL PROCESO DE COMPOSTAJE EN LOS EXPERIMENTOS. A (CBo), B (CCA), C (CEQ) Y D (COV).....	69
---	----

### Apartado 5.3

FIGURA 1. COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA DURANTE EL COMPOSTAJE DE HECES PECUARIAS EN PRIMAVERA.....	75
---	----

## RESUMEN

Se considera que la industria pecuaria tiene gran responsabilidad en el calentamiento global por la generación de contaminantes vertidos al suelo, agua y atmósfera. Las heces pecuarias causan un impacto ambiental como generación de gases de efecto invernadero, eutrofización de cuerpos de agua y sobrecarga de nutrientes en suelos de cultivo. El suelo puede ser afectado por las heces si éstas contienen altas concentraciones de nutrientes (nitrógeno y fósforo), microorganismos patógenos antibióticos, etc. Sin embargo, las heces pecuarias son un recurso valioso para la obtención de composta con uso como mejorador de suelos o abono orgánico para cultivos. El compostaje de las heces pecuarias es una alternativa para su sanitización y adecuada mineralización de los elementos necesarios para las plantas. El objetivo de la presente investigación fue comparar las características físicas y químicas de las compostas elaboradas con heces de bovinos, caprinos, equinos y ovinos durante las estaciones del año. El compostaje se realizó en el Rancho “El Salitre” del Centro Universitario UAEM-Temascaltepec, localizado en el municipio de San Simón de Guerrero, en la región subtropical en el Sureste del Estado de México a  $100^{\circ}6'27''$  O y  $19^{\circ}2'8''$  N, a 1800 msnm. Los residuos orgánicos utilizados fueron heces de bovinos (Bo), caprinos (Ca), equinos (Eq) y ovinos (Ov) y fueron colectadas de los corrales de cada especie. Las heces estaban mezcladas con residuos de la alimentación, y ésta fue diferente en los dos períodos climáticos marcados de lluvias y estiaje, por lo cual las heces fueron analizadas químicamente en los dos períodos. Las heces se colectaron de acuerdo a la disponibilidad por especie de los corrales donde estaban acumuladas por dos meses. La investigación se dividió en tres etapas correspondientes a las estaciones del año: Etapa 1, Compostaje de heces pecuarias en verano; Etapa 2, compostaje de heces pecuarias durante otoño-invierno y Etapa 3, compostaje de heces pecuarias durante primavera. En cada una de las etapas se realizaron diferentes experimentos. La Etapa 1 se realizó durante el período de lluvias en verano de agosto a septiembre del 2014, se formaron tres pilas de compostaje de 80 kg de cada tipo de heces frescas: bovino (HB), caprino (HC), equino (HE) y ovino (HO) y fueron distribuidas al azar sobre el suelo al aire libre. Las pilas fueron volteadas con pala cada semana para reducir la

humedad. La Etapa 2 se realizó durante noviembre de 2014 a enero de 2015 y la Etapa 3 fue de abril a mayo de 2015. Durante estas etapas de otoño-invierno y primavera se utilizaron dos métodos de ventilación: manual con pala (Vm) y con tubos de policloruro de vinilo perforados (Vt). La Vm consistió en voltear las pilas el día 15 y 30 (El Kader et al. 2007) después de haber iniciado el compostaje, utilizando una pala de excavación para jardín Trupper (33.5 x 26.2 x 103cm). La Vt consistió en colocar horizontalmente dos (Etapa 2) y tres (Etapa 3) tubos plásticos de policloruro de vinilo de 1 m de largo y 10 cm de diámetro en el interior de cada pila. 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. En la etapa 2 se formaron tres pilas de compostaje de cada tipo de heces, de 100 kg HB y HO, y de 50 kg HE y HC. En la Etapa 3 se formaron cuatro pilas de 100 kg de cada tipo de heces. El proceso de compostaje de todos los experimentos duró 45 días. Se midió la temperatura de las pilas en cada una de las etapas de la investigación. Las compostas obtenidas en las etapas 2 y 3 (CBo+ Vm, CBo+Vt, CCa+Vm, CCa+Vt, CEq+Vm, CEq+Vt, COv+Vm y COv+Vt) fueron analizadas químicamente al igual que las obtenidas en verano, también se realizaron análisis biológicos y una prueba de germinación a las compostas obtenidas en la estación de primavera. Se realizaron análisis de varianza de las características químicas de las compostas obtenidas en cada estación del año. Se utilizó el comando del modelo general lineal (GLM) del Programa MINITAB for Windows Release 12.21 y la comparación de medias fue mediante prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ). En la estación de verano la temperatura en las pilas de compostaje se comportó diferente. El compostaje de HC y HB alcanzaron las temperaturas más altas ( $> 40^{\circ}\text{C}$ ), seguido de HO ( $35^{\circ}\text{C}$ ) y finalmente el compostaje de HE registró las menores temperaturas ( $\leq 35^{\circ}\text{C}$ ). La composta de heces de equino tuvo menor pH (7) y cantidad de P, Ca y Na, sin embargo, la C/N fue muy alta (45.6) esto debido al bajo contenido de N. que posiblemente se perdió por lixiviación en todas las pilas de compostaje, lo cual se podría atribuir a la estacionalidad, puesto que era período de lluvias. El compostaje realizado en el período de otoño-invierno permitió conservar y mejorar el contenido nutrimental de las heces de CBo, CCa, y COv. Sin embargo, no se observaron variaciones en las características químicas por efecto del método de ventilación. En CEq, el método de ventilación con tubos de

policloruro de vinilo perforados favoreció la reducción de relación C/N en más del 40% en comparación con el contenido inicial, indicando que el espacio de aire libre es funcional para la degradabilidad de materia orgánica fomentando mayor mineralización de los compuestos, sin embargo cuando las heces de equino se encuentre mezcladas con paja de avena, la C/N en la mezcla inicial del sustrato deberá ser balanceado adecuadamente adicionando desechos nitrogenados. Durante la estación de primavera, la temperatura en la cima de las pilas de compostaje mostró temperaturas por encima de los 50°C en todos las compostas excepto CEq+Vt ( $\leq 35.8^{\circ}\text{C}$ ). En el método Vm, todas las compostas mostraron la fase termófila. En el método de Vt el CEq, no mostró dicha fase. La temperatura medida en la parte media de la pila de compostaje tuvo una temperatura menor aproximadamente de 2-5°C en todas las compostas. Hubo diferencias significativas ( $P \leq 0.005$ ) en todas las variables de la composición química por el factor de tipo de compostas excepto en CIC, Mg y Na. Se presentaron diferencias significativas ( $P \leq 0.005$ ) por el método de ventilación en las variables de C/N, K e IG. Los CCa y CEq obtenidos mediante los dos métodos de ventilación tuvieron el mejor índice de germinación con más del 80%. Las compostas elaboradas con heces de bovinos, caprinos, equinos y ovinos presentaron diferencias en las características físicas y químicas en cada una de las estaciones del año en que fueron obtenidas.



## ABSTRACT

It is considered that the livestock industry has great responsibility in global warming by the generation of pollutants to soil, water and atmosphere. Livestock feces cause an environmental impact and generation of greenhouse gases, eutrophication of water bodies and nutrient overload in agricultural soils. The soil can be affected by feces if they contain high concentrations of nutrients (nitrogen and phosphorus), pathogens, antibiotics and more. However, livestock feces are a valuable resource for obtaining use compost as a soil or compost for crops. Composting of livestock feces is an alternative for sanitation and adequate mineralization of the elements necessary for plants. The aim of this investigation was to compare the physical and chemical characteristics of the compost made from feces of cattle, goats, horses and sheep during the seasons. Composting was held at the Rancho "El Salitre" of the Centro Universitario UAEM-Temascaltepec, located in the municipality of San Simón de Guerrero, in the subtropical region in the southeast of the State of Mexico to 100°6'27" O and 19°2'8" N, at 1800 meters. Organic waste used were feces of cattle (Bo), goats (Ca), equines (Eq) and sheep (Ov) and were collected from the pens of each species. Feces were mixed with waste food, and this was different in the two marked climatic periods of rain and drought, so feces were chemically analyzed in the two periods. Feces were collected according to the availability by species of the pens where they were accumulated for two months. The research was divided into three corresponding to the season stages: Stage 1, composting of livestock feces in summer; Stage 2, composting of livestock feces for autumn-winter and Stage 3, composting of livestock feces during spring. In each of the stages different experiments were performed. Stage 1 was conducted during the summer rains from August to September 2014, three piles of composting 80 kg of each type of fresh feces were formed: bovine (HB), goats (HC), equine (HE) and sheep (HO) and were randomly distributed on the ground outdoors. The piles were turned shovel every week to reduce moisture. Stage 2 was conducted during November 2014 to January 2015 and Stage 3 was from April to May 2015. During these stages autumn-winter and spring two ventilation methods were used: manual whit shovel (Vm) and tubes perforated polyvinyl chloride (Vt). Vm was to turn the piles 15 and 30 days (El Kader *et al.*, 2007) after starting composting, using a shovel digging garden

trupper (33.5 x 26.2 x 103cm). The Vt consisted of placing two horizontally (Stage 2) and three (Stage 3) plastic tubes polyvinylchloride 1 m long and 10 cm in diameter inside each pile. To each tube was performed three perforations 10 cm in diameter spaced 15 cm using a hot knife steel, leaving a margin of 20 cm at each end of the tube. In stage 2, three piles of each type composting stool 100 kg HO and HB, and HC and HE 50 kg were formed. Stage 3 four stacks of 100 kg of each type were formed stool. The composting process of all experiments lasted 45 days. Piles temperature at each stage of the investigation was measured. Composts obtained in stages 2 and 3 (CBo+Vm, CBo+Vt, CCa+Vm, CCa+Vt, CEq+Vm, CEq+Vt, COv+Vm and COv+Vt) were chemically analyzed as those obtained in summer, biological analysis and a germination test to composts obtained in the spring season were also performed. Variance analysis of the chemical characteristics of the compost obtained in each season were made. The command of the general linear model (GLM) program for Windows MINITAB Release 12.21 and comparison of means was used was by Tukey test ( $P < 0.05$ ). In the summer season the temperature in the compost piles behaved differently. Composting of HC and HB reach higher temperatures ( $> 40^{\circ}\text{C}$ ), followed by HO ( $35^{\circ}\text{C}$ ) and finally composting recorded HE lower temperatures ( $\leq 35^{\circ}\text{C}$ ). The equine feces compost had lower pH (7) and quantity of P, Ca and Na, however, the C/N was very high (45.6) this due to the low content of N, possibly lost by leaching in all compost piles, which could be attributed to seasonality, since it was rainy. Composting made in the autumn-winter period allowed preserve and improve the nutritional content of feces CBO, CCa, and COv. However, no changes in the chemical characteristics were observed effect of cooling method. In CEq method ventilation tubes polyvinyl perforated vinyl favored reducing C / N ratio more than 40% compared to the initial content, indicating that the free air space is functional for degradability of organic matter fostering increased mineralization of the compounds, however when equine feces be mixed with oat straw, the C/N in the initial mixture of the substrate must be adequately balanced by adding nitrogenous waste. During the spring season, the temperature at the top of the compost piles showed temperatures above  $50^{\circ}\text{C}$  in all composts except CEq+Vt ( $\leq 35.8^{\circ}\text{C}$ ). In the Vm method, all composts showed the thermophilic phase. In the method of Vt, CEq did not show this phase. The temperature measured in the middle of the compost pile had a lower temperature of about  $2-5^{\circ}\text{C}$  in all

composts. There were significant differences ( $P \leq 0.005$ ) in all variables of the chemical composition by type composts factor except ClC, Mg and Na. Significant differences ( $P \leq 0.005$ ) were presented by the method of ventilation variables C/N, K and IG. The CCa and CEq obtained by the two methods of ventilation had the best germination rate over 80%. Composts made from feces of cattle, goats, equines and sheep showed differences in physical and chemical characteristics in each of the seasons in which they were obtained.

## I. INTRODUCCIÓN

El incremento de la productividad agronómica y el mejoramiento de la calidad ambiental son las metas más importantes planteadas para del siglo XXI, e incluye no solamente alcanzar la seguridad en las provisión de los alimentos y poner fin a la degradación de los suelos, sino también restaurar los suelos degradados y mejorar la calidad del ambiente, por lo cual cobra importancia el estudio de los residuos orgánicos, a fin de promover su uso para este propósito (Acosta *et al.*, 2012a). Bernal *et al.* (2009) mencionan que la actividad intensiva y concentrada de la industria ganadera genera enormes cantidades de desechos biodegradables, los cuales tienen que ser manejados bajo prácticas apropiadas de disposición para evitar un impacto negativo sobre el medio ambiente. Para Lazcano *et al.* (2008) el estiércol de ganado bovino es un recurso valioso como fertilizante del suelo porque provee un alto contenido de macro y micro nutrimentos para el desarrollo de las plantas y es una alternativa de bajo costo como fertilizante mineral.

Las estadísticas de población pecuaria en México para el cierre del año 2014 reportan 32,939,539 cabezas de bovinos (carne y leche), 16,098,680 de porcinos, 526,842,591 de aves (carne y huevo), 8,575,908 de ovinos y 8,687,814 de caprinos (SIAP, 2016). El nitrógeno excretado por el total de la población pecuaria en México corresponde a 1,764,006 t N año<sup>-1</sup> de las cuales el 64% se descompone en pastoreo, el 13% es almacenado en sólido, el 8% se aplica como abono al suelo agrícola, el 1.7% en sistemas líquidos y el 11.6% en otros (INECC, SEMARNAT 2015). El inventario nacional de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero emitido por SEMARNAT e INECC (2015) reportan 80,756.85 Gg CO<sub>2</sub>e por el sector agropecuario, el 67.6% de estas emisiones es de metano (CH<sub>4</sub>) y el 31.9% es óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). El manejo del estiércol aporta el 4% del total de las emisiones de CH<sub>4</sub> y el 46.9% del total de las emisiones del N<sub>2</sub>O, pero su aportación en el total de las emisiones por el sector es del 17.6%.

La forma de fertilizantes orgánicos de mayor preferencia son los excrementos de la cría de ganado (Fernández *et al.*, 2008) 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 (Lazcano *et al.*, 2008), de la misma manera pueden causar un impacto negativo en el ambiente como malos olores, emisiones de gases, y contaminación de suelo y agua (Bernal *et al.*, 2009).

El compostaje es el método más adecuado para el tratamiento eficaz de los desechos orgánicos para obtener un producto higiénicamente seguro y económicamente rentable (Szabová *et al.*, 2010; Kulcu y Yaldiz, 2004). Oviedo *et al.* (2014) utilizaron el compostaje para estabilizar e higienizar biorresiduos sólidos municipales, obteniendo un producto seguro. Hernández *et al.* (2013) evaluaron la calidad nutrimental de cuatro abonos orgánicos composteados producidos a partir de residuos vegetales y pecuarios encontrando en la gallinaza un potencial para la elaboración de abonos orgánicos. Brito *et al.* (2008) utilizaron diferentes métodos para mejorar el proceso de compostaje de la fracción sólida de purines de ganado lechero encontrando mayor eficiencia en el compostaje y estabilidad de la materia orgánica al incrementar el contenido de materia seca.

Los factores involucrados en el proceso de compostaje como la aireación, la relación inicial C/N y el contenido de humedad, influyen en el contenido de nutrientes, madurez y estabilidad del compost (Guo *et al.*, 2012). Excesiva aireación puede incrementar pérdidas de amoníaco y conducir más lento el proceso (Bernal *et al.*, 2009); una relación inicial C/N baja, puede incrementar pérdidas de nitrógeno como gas amoníaco y el contenido de humedad puede afectar la calidad del compost pero no significativamente (Guo *et al.*, 2012). Parkinson *et al.* (2004) sugirieron reducir los volteos de tres a uno a las pilas de compost durante todo el proceso, para reducir las pérdidas de nutrientes de compost con estiércol bovino.

La influencia de los factores ambientales como temperatura y humedad en el proceso de compostaje de residuos orgánicos han sido estudiados. Mirabelli, (2008) menciona que la temperatura ambiente no tiene influencia en el interior de las pilas; el calor es solo metabólico. Szabová *et al.* (2010) reportaron una inducción de máxima temperatura de 65°C en el compostaje de desechos orgánicos (paja, aserrín, madera y lodos residuales) independientemente de la baja temperatura del aire (-6 a 12°C) en la estación de invierno;

en verano observaron alta temperatura del sustrato (71°C). Benito *et al.* (2005) reportaron no encontrar diferencias significativas en las propiedades químicas de las muestras de compost de pilas de compostaje de desechos de poda en diferentes estaciones del año, sin embargo, en las características de retención de agua fueron afectadas por los cambios en la estacionalidad. Parkinson *et al.* (2004), reportaron que los patrones climáticos estacionales influyen fuertemente los procesos de pérdidas de N y P tanto por lixiviación como volatilización en el compostaje de estiércol bovino realizados durante tres periodos del año.

El compost terminado provee un valor como enmienda o acondicionador del suelo (Cook *et al.*, 2015); además puede contener un alto contenido de nutrientes (Costa *et al.*, 2014) que lo hacen un excelente abono orgánico con capacidad de sustituir la fertilización inorgánica (Lazcano *et al.*, 2008; López *et al.*, 2012; Zaragoza *et al.*, 2011). De la misma manera, la composta resulta ser un componente aceptable de sustratos para crecimiento de plantas ornamentales igual que peat ó un sustrato medio de crecimiento comercial (Benito *et al.*, 2005). El uso de los abonos orgánicos representa una alternativa económica, ecológica y sustentable en la producción de chile habanero (*Capsicum chinense* L. Jacq) con una producción de 12.8 t ha<sup>-1</sup> (López *et al.*, 2012). De la Cruz *et al.* (2010) reportaron el uso de compostas elaboradas con mezclas de desechos orgánicos incluyendo estiércol de ganado vacuno y vermicompostas en la producción de tomate orgánico en invernadero, sus resultados fueron tomates con características de 4°Brix para consumo fresco en todas las mezclas y solo una mezcla de composta no alcanzó los 4.5°Brix para tomates destinados a la industria. Zaragoza *et al.* (2011) reportaron un rendimiento de nuez 1416 t ha<sup>-1</sup> y peso 5.86 g nuez<sup>-1</sup> con aplicación de composta de ganado bovino lechero de 10 t ha<sup>-1</sup>. El objetivo de esta investigación fue comparar las características físicas y químicas de las compostas elaboradas con heces de bovinos, caprinos, equinos y ovinos durante las estaciones del año.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Conceptos básicos en la degradación de residuos orgánicos

**Compost (a).** La Real Academia Española (RAE) define al compost como “Humus obtenido artificialmente por descomposición bioquímica en caliente de residuos orgánicos”. Es una composición o compuesto; especialmente una mezcla de varias sustancias como estiércoles u hojas muertas para fertilizar el campo (Ruíz, 2012).

La composta es un abono orgánico que se forma por la degradación microbiana de materiales acomodados en capas y sometidos a un proceso de descomposición (Torres, s/f). Labrador (1996), menciona que la composta es el resultado de la fermentación aeróbica de una mezcla de materiales orgánicos, en condiciones específicas de aireación, humedad y temperatura, y con la intervención de bacterias, hongos y numerosos insectos detritívoros.

**Compostaje.** Es un proceso biooxidativo complejo de mineralización y humificación parcial de la materia orgánica, conduciendo a un producto final estable, libre de fitotoxicidad y patógenos y con propiedades húmicas seguras (Bernal *et al.*, 2009). Según Lazcano *et al.* (2008) el compostaje implica la degradación acelerada de la materia orgánica por los microorganismos bajo condiciones controladas, en el cual los materiales orgánicos se someten a una etapa termofílica característica que permite la sanitización de los desechos por la eliminación de los microorganismos patógenos.

**Desechos biodegradables.** “Que puede ser degradado por acción biológica” (RAE). Todo material o materia se transforma o se degrada, pero no desaparece (deja de ser lo que es para convertirse en otra cosa). Cuando esta transformación se realiza por la acción de los seres vivos, específicamente microorganismos, se dice que el material es biodegradable. Debido a que la biodegradación es producida por organismos vivos, es afectada por el calor y la humedad; estos dos factores a su vez, producen por si mismos degradación física y química (Ruíz, 2012).

## **2.2 Desechos orgánicos biodegradables**

La mayoría de los desechos orgánicos de origen biológico, así como muchos productos orgánicos sintéticos, son biodegradables y, por lo tanto, susceptibles de ser sometidos al compostaje (Ruíz, 2009). Muchos tipos de desechos son producidos cada año, algunos de los cuales tiene potencial benéfico en la agricultura. En el año 2013 en México se generaron 22,500.3 millones de toneladas de desechos orgánicos, de los cuales solamente 2,748.72 toneladas fueron enviadas a tratamiento diariamente (INEGI, 2016). Algunos de ellos como, aguas residuales municipales, lodos residuales, estiércoles animales, desechos de alimentos procesados, entre otros, tienen menor potencial de reúso debido a los elevados niveles de sales, metales pesados o compuestos tóxicos orgánicos; sin embargo, siendo adecuadamente tratados tienen alto potencial para la producción de cultivos como sustituto de fertilizante por su contenido de nutrientes y materia orgánica (Tirado, 2008).

Recientemente, las investigaciones para la gestión de los desechos orgánicos han enfocado a los estiércoles ganaderos, como un recurso valioso como mejorador del suelo, abono para cultivos y sustrato para germinación de plantas (Azeez *et al.*, 2010; Evanylo *et al.*, 2008; Guo *et al.*, 2012).

## **2.3 Proceso de compostaje**

El compostaje es una de las estrategias de manejo de residuos que está ganando interés como una opción para estabilizar el estiércol teniendo ventajas económicas y ambientales a pesar de no ser una nueva tecnología (Bernal *et al.*, 2009). Las ventajas económicas van en relación a que el compost es una alternativa de bajo costo como fertilizante orgánico (Lazcano *et al.*, 2008); las heces pecuarias pueden ser convertidas en un producto vendible (El Kader *et al.*, 2007). En cuanto a las ventajas ambientales, el compostaje reduce la masa del estiércol, destruye patógenos y malas hierbas, lo



desodoriza y reduce las emisiones de gases efecto invernadero (Ahn *et al.*, 2011, Bernal *et al.*, 2009, El Kader *et al.*, 2007).

### **2.3.1 Tipos de compostaje**

#### **2.3.1.1 Compostaje aeróbico**

El proceso de biodegradación de una mezcla de sustratos orgánicos realizado por una comunidad microbiana compuesta de varias poblaciones dentro de un ambiente con provisiones de oxígeno y en estado sólido se refiere al compostaje aeróbico (Diaz *et al.*, 2007). El accionar de estos microorganismos eleva la temperatura en la masa de compostaje dando paso a una serie de fases y con ello diversas poblaciones de microorganismos (Cuadro 1) (Mirabelli, 2008).

El proceso comienza con la oxidación de la materia orgánica fácilmente degradable: ésta primera fase es llamada descomposición. La segunda fase, estabilización, incluye no solo la mineralización de las moléculas lentamente degradables, sino también incluye procesos más complejos tales como la humificación de los compuestos ligno-celulosos (Diaz *et al.*, 2007).

Cuadro 1. Fases y microorganismos presentes en el compostaje.

<b>Fases</b>	<b>Duración</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Especies útiles</b>	<b>Patógenos y parásitos</b>
<b>Latencia</b>	1 día	20	Bacterias, hongos, protozoos	Insectos, larvas, huevos de parásitos, gérmenes patógenos, semillas de malezas
<b>Mesófila 1</b>	15 horas	25-30	Bacterias y hongos mesófilos y pocos termófilos	Eclosión forzada de huevos de parásitos, evolución de larvas, fuga de insectos
<b>Termófila 1</b>	55 horas	35-45	Hongos termófilos, sustancias antibióticas	Destrucción de larvas de insectos, parásitos, semillas, comienzo de destrucción de patógenos
<b>Termófila 2</b>	12 días	65-75	Desaparición de termófilos patógenos, aparición de bacterias termófilas y actinomicetes	Destrucción de larvas de patógenos intestinales, coliformes, etc.
<b>Termófila 3</b>	15 días	75-35	Bacterias, hongos y actinomicetes termófilos	Finalización de bacterias patógenas, incluso esporuladas
<b>Mesófila 2</b>	50 días	25-20	Microorganismos no patógenos	Ausencia de patógenos

Fuente: Mirabelli, 2008.

### 2.3.1.2 Compostaje anaeróbico

La bio-conversión anaeróbica de los sustratos orgánicos es considerada como la solución biotecnológica más común debido a los beneficios de recuperación económicos y de energía (Karthikeyan y Visvanathan, 2013); además, beneficios ambientales como mitigación de gases efecto invernadero y calentamiento global (Jha *et al.*, 2011). La digestión anaeróbica es un proceso de descomposición de la materia orgánica por un consorcio microbiano en un ambiente libre de oxígeno para producir energía renovable tal como metano e hidrógeno y también obtener un fertilizante rico en nutrientes (Chen *et al.*, 2008; Asia *et al.*, 2006).

En la ausencia del oxígeno, las multifacéticas actividades coordinadas de la bacteria anaeróbica *Archae* básicamente incluyen la hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis, los cuales son procesos básicos de la descomposición del metano (Li *et al.*, 2011).

### 2.3.2 Técnica de elaboración de las compostas aeróbicas

El compostaje ocurre naturalmente después de algún tiempo, para ser eficiente requiere el control de distintos factores tales como humedad, aireación y temperatura, entre otros; y así, evitar molestos problemas como olores y polvo, para finalmente obtener un producto agrícola de buena calidad (Bernal *et al.*, 2009).

Uno de los primeros esfuerzos documentados sobre la aplicación del compostaje en el manejo de residuos orgánicos fue desarrollado en India en 1933. En este tiempo Sir Albert Howard, en colaboración con Jackson, Wad y otro trabajadores desarrollaron los procedimientos de compostaje moderno en un método conocido como “Proceso Indore”, el cual en un inicio solo usaba estiércol de animales apilado a campo abierto durante 6 meses (Diaz *et al.*, 2007). A esta técnica se le han desarrollado o incorporado mejoras para fomentar la activación de microorganismos, reducción en tiempo del proceso o evitar emisiones de gases efecto invernadero; tal es el caso de El Kader *et al.* (2007) que

compararon voltear, compactar y adicionar agua a las pilas de compost de estiércol de vaca y pavo para reducir las emisiones de amoníaco (NH<sub>3</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), los resultados se muestran en el cuadro 2.

Cuadro I. Emisiones de NH<sub>3</sub> y N<sub>2</sub>O en estiércol de vaca y pavo.

Tratamientos	Emisión de NH <sub>3</sub> (kg)	Emisión de N <sub>2</sub> O (kg)
<b>Vaca</b>		
Volteado	0.48	70
Estático	0.33	46
<b>Pavo</b>		
Seco/compactado	3.6	47
Seco/no compactado	5.8	91
Húmedo/compactado	1.6	24
Húmedo/no compactado	3.0	34

Fuente: El Kader *et al.*, 2011

Ahn *et al.* (2011) encontraron que las pilas de compost volteadas en los días 10, 23, 36 y 52 durante los 80 días de su investigación, tuvieron mayores emisiones (kg) de CO<sub>2</sub> (42.4±1.2), CH<sub>4</sub> (1.3±0.03) y N<sub>2</sub>O (0.0185±0.002) con respecto a las pilas estáticas (38,5±0.2, 0.9±0.02 y 0.0053±0.001, respectivamente).

### 2.3.3 Factores a considerar en la elaboración de la composta

#### 2.3.3.1 Sustratos

Esencialmente todos los sustratos disponibles para el compostaje son de origen animal, vegetal y microbiano; generalmente los materiales provenientes de las plantas son en mayor cantidad, mientras que los componentes animal y microbiano son solo la menor fracción de algunas mezclas, pero usualmente son la fracción más rica en nutrientes (Díaz *et al.*, 2007).

La importancia del origen de los sustratos esta en relación directa con la peculiaridad de las características físicas y químicas (Ruíz, 2009). Algunas de las características físicas más importantes de los sustratos son principalmente los relacionados con el tamaño de partícula y el contenido de humedad del material (Diaz, *et al.*, 2007). El tamaño y la distribución de las partículas son críticos para el balance del área superficial de crecimiento de los microorganismos y la permanencia de la adecuada porosidad para la aireación (Bernal *et al.*, 2009); el tamaño ideal de las partículas es de 1-5 cm (Ruíz, 2009; CIB, 2013) y el porcentaje del espacio poroso lleno de aire en las pilas de compostaje está en el rango de 35-50% (Bernal *et al.*, 2009). El contenido de humedad óptima para un amplio rango de sustratos a ser composteados generalmente es del 50-60% (Bernal *et al.*, 2009; Diaz *et al.*, 2007; Mirabelli, 2008). Las características químicas de los sustratos están relacionadas con los nutrientes de los materiales, este tema se citará en el apartado de relación carbono/nitrógeno.

Existen residuos no recomendados para el compostaje tales como residuos sanitarios, hospitalarios, infecciosos, peligrosos, animales muertos por zoonosis o enfermedades de alto riesgo, lodos de plantas de tratamiento de agua de zonas industriales y aquellos determinados por las autoridades competentes (i.e. normas oficiales mexicanas) (Ruíz, 2012).

### 2.3.3.2 Temperatura

La temperatura es uno de los factores más importantes que determinan la velocidad de las reacciones bioquímicas en el compostaje y una maduración adecuada de las compostas (Hernández *et al.*, 2013). Diaz *et al.* (2007) señalan que el compostaje es un proceso biooxidativo de descomposición microbiano de mezclas de materia orgánica y por lo tanto un proceso exotérmico que produce relativamente una gran cantidad de energía y solamente el 40-50% de esta puede ser utilizada por los microorganismos para la síntesis de ATP; la energía remanente se pierde como calor en la masa de compostaje. La evolución de la temperatura en el curso del compostaje es el resultado de un balance entre el calentamiento debido a las actividades de los microorganismos y las pérdidas

debidas a los intercambios con el medio exterior (Ruíz, 2009). Los cambios de temperatura en el proceso de producción de composta determinan la abundancia y diversidad de los grupos microbianos predominantes (Bernal *et al.*, 2009), así como también es función de la composición del sustrato y de la naturaleza de los intercambios térmicos (Ruíz, 2009). Esta actividad microbiana, divide el proceso en fases: mesófila, termófila, de enfriamiento y maduración; Oviedo *et al.* (2014) reportaron este comportamiento típico de fases secuenciales de temperatura en el compostaje de biorresiduos de origen municipal. El sobre calentamiento inicial no debe sobrepasar 60-70°C (Diaz *et al.*, 2007). Las altas temperaturas son capaces de eliminar patógenos (Szavobá *et al.*, 2010), pero también son capaces de terminar con la flora benéfica y desnaturalizar a las enzimas responsables de la degradación (Acosta *et al.*, 2012b). Esta condición al igual que la humedad y el pH, determinan el éxito en el proceso de compostaje aeróbico.

Por otro lado, dependiendo del tratamiento que se le dé a la pila del compost serán las variaciones de temperatura, Ahn *et al.* (2011) reportaron que después de cada volteo de la pila había un descenso en la temperatura pero seguidamente regresaba a un ligero nivel más bajo que la temperatura anterior al volteo; este fenómeno también fue reportado por otros autores. Brito *et al.* (2008) reportaron temperaturas termófilas (>65°C) durante un mes del proceso de compostaje de la fracción sólida de estiércol de ganado bovino en todos sus tratamientos. Costa *et al.* (2014) reportaron temperaturas más bajas en las hileras de compostaje que contenían mayor cantidad de cama de ovejas, ya que las características granulométricas y el tamaño de partícula de este material contribuía a promover mayor aireación y retenía poco calor en la hilera de compostaje.

### 2.3.3.3 Humedad

El agua es esencial para todas las actividades microbiológicas y debe estar presente en cantidades apropiadas en todo el ciclo de compostaje; el contenido óptimo en el material inicial varía, y esencialmente depende sobre el estado físico y tamaño de las partículas y del sistema de compostaje usado (Diaz *et al.*, 2007). El material a compostear debe tener

entre un 50-60% de humedad, como regla general, el óptimo de la actividad microbiana se logra cuando la máxima cantidad de agua, no restringe la utilización del oxígeno (Mirabelli, 2008). Bernal *et al.* (2009) comentan que la humedad varía de acuerdo al desecho a compostear. Oviedo *et al.* (2014) reportaron que la frecuencia de volteo de las pilas de biorresiduos de origen municipal con alto contenido de humedad inicial favoreció a la reducción de la misma y permitió mayor degradación de la materia orgánica.

Humedad en un rango menor al 30% inhibe la actividad bacteriológica, también un exceso de humedad mayor al 65% resulta en una lenta descomposición (Bernal *et al.*, 2009; Diaz *et al.*, 2007; Mirabelli, 2008), producción de olor en bolsas anaeróbicas y pérdida de nutrientes (Trautmann, 2000). Kulcu y Yaldiz (2007) reportaron una humedad entre el 64-65% al inicio del proceso de compostaje de estiércol de cabra y al final el contenido de agua tuvo variaciones de acuerdo a la proporción de desechos utilizados en las mezclas composteadas durante 21 días; la mezcla de 45% estiércol de cabra, 45% de paja de trigo y 10% de conos de pino tuvo una pérdida mayor cerca del 45%. Un producto final que esté bien humificado, debe poder retener hasta una vez y media su propio peso en agua (Mirabelli, 2008).

#### 2.3.3.4 Aireación

La aireación es uno de los factores más importantes del proceso de compostaje porque éste es básicamente una transformación aeróbica de la materia orgánica donde el oxígeno es consumido y se producen gases como vapor de agua y dióxido de carbono (El Kader *et al.*, 2007), además sirve para el adecuado control de la humedad por lo que resulta muy importante la selección del método de aireación y depende de la naturaleza del sustrato, siendo los más comunes el volteo de pilas o la aireación forzada (Oviedo *et al.*, 2014). Bernal *et al.* (2009) en su revisión de literatura comentan que la aireación controla la temperatura, elimina el exceso de humedad y dióxido de carbono, además provee oxígeno para los procesos biológicos. Kulcu y Yaldiz (2007) comentaron que el principal problema de los sistemas de aireación es que la distribución del oxígeno no es homogénea en la pila de compostaje y eso podría provocar acumulación de dióxido de

carbono y condiciones anaeróbicas dentro de la pila. Por tal razón, estos autores evaluaron diferentes proporciones de conos de pino agregados a las mezclas de estiércol de caprino con paja de avena para determinar la proporción de mezcla óptima para valores adecuados de espacio de aire libre para el compostaje, encontrando que 10% de conos de pino, 45% de estiércol caprino y 45% de paja de avena fue la mejor. Lazcano *et al.* (2008) compararon la efectividad del compostaje agregando aire forzado a la trinchera de estiércol contra vermicompostaje para la estabilización biológica de estiércol de vaca, encontrando que el compostaje tuvo una mayor biomasa y actividad microbiana ( $2.7 \cdot 10^4$  y  $4.8 \cdot 10^3$  mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> MO, respectivamente) que el vermicompostaje ( $2.5 \cdot 10^4$  y  $4.2 \cdot 10^3$  mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> MO, respectivamente). Guo *et al.* (2012) concluyeron que la tasa de aireación fue el mejor factor que influenció la estabilidad de compost obtenido de la mezcla de heces de cerdo y paja de maíz.

Por otro lado, demasiada oxigenación puede provocar pérdidas de nitrógeno por volatilización, Cook *et al.* (2014) reportaron mayores pérdidas de nitrógeno total en las pilas de compostaje de purines de cerdo volteadas más frecuentemente durante el otoño.

#### 2.3.3.5 Relación carbono/nitrógeno

El balance nutricional es principalmente definido por la relación carbono/nitrógeno (C/N), el cual es requerido por los microorganismos como fuente de energía (carbono orgánico degradable) y nitrógeno para su desarrollo y actividad (Bernal *et al.*, 2009). La relación C/N para iniciar el compostaje, debe estar comprendida entre 30 a 45/1 (Mirabelli, 2008). La adecuada relación C/N para el compostaje está en el rango de 25-35, porque está considerado que los microorganismos requieren treinta partículas de carbono por una de nitrógeno (Bernal *et al.*, 2009; Diaz *et al.*, 2007). Alta relación C/N hace el proceso más lento porque hay un exceso de sustrato a degradar para los microorganismos. Pero con baja relación C/N hay un exceso de nitrógeno por carbono degradable y nitrógeno inorgánico es producido en exceso y puede ser perdido por volatilización de amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) o por lixiviación desde la masa del compostaje (Diaz *et al.*, 2007; Mirabelli, 2008). Sin embargo, una baja relación C/N puede ser corregida adicionando un agente que



aumente el volumen en la provisión de carbono orgánico degradable (Diaz *et al.*, 2007). La relación C/N indica el grado de descomposición de un desecho, como el carbono es perdido como CO<sub>2</sub> durante la biooxidación, mientras el nitrógeno es perdido a una tasa menor, y por tanto mayor descomposición de un desecho, menor relación C/N (Lazcano *et al.*, 2008).

El estiércol bovino tiene un alto contenido de carbono mientras que el estiércol de pavo tiene un alto contenido de nitrógeno, por este contraste en la proporción C/N estos dos estiércoles pecuarios fueron escogido por El Kader *et al.* (2007) para evaluar las emisiones de gases (amoníaco y óxido nitroso) con diferentes técnicas de compostaje tales como: volteo, compactación y adición de agua. La compactación y adición de agua pueden usarse para mejorar el control de las emisiones después del volteo.

## **2.4 Maduración, estabilización y contenido nutricional de la composta**

El principal requerimiento de un compost para ser usado seguramente en el suelo es un alto grado de estabilización y maduración, los cuales implican un contenido estable de MO y la ausencia de compuestos fitotóxicos, plantas y microorganismos patógenos (Bernal *et al.*, 2009).

### **2.4.1 Criterios de maduración y estabilización**

La maduración de un compost está asociada con el potencial de crecimiento de plantas o fitotoxicidad, así como también describe el impacto de otras propiedades químicas sobre el desarrollo de las plantas (CCQC, 2001). Estas incluyen la relación C/N, relación amonio/nitrato, capacidad de intercambio catiónico entre otras. Azeez *et al.* (2010) encontraron una disminución en la biomasa de *Cucurbita maxima* en una aplicación de estiércol de pollo de 17.10 ton ha<sup>-1</sup>, y concluyen que esta disminución no se debió a salinidad sino a efecto de toxicidad posiblemente por ácidos grasos. Guo *et al.* (2012) reportaron que el índice de germinación fue influenciado por la relación C/N ( $p=0.004$ ) y

que al final de proceso de compostaje de heces de cerdo el índice de germinación fue más alto en los tratamientos con relación C/N 18. Benito *et al.* (2005) reportaron niveles adecuados de CIC ( $93.9 \text{ cmol kg}^{-1}$ ), carbón orgánico (47.42%) y valores de relación C/N altos (22 a 48) pero consideran que los desechos de poda tienen muchos compuestos recalcitrantes y una relación al derredor de 30 indican madurez del compost en 12 diferentes compost de residuos de poda.

La estabilidad a menudo está relacionada con la actividad microbiana del compost (Bernal *et al.*, 2009). La cinética de estabilización de los desechos depende en su composición bioquímica y en sus características físicas y está también influenciada por condiciones ambientales como suplemento de oxígeno, temperatura y humedad (De Guardia *et al.*, 2010). Guo *et al.* (2012) concluyen que el factor que influenció mayormente a la estabilidad fue la tasa de aireación en el compostaje de heces de cerdo.

#### **2.4.2 Contenido nutrimental**

En relación con los fertilizantes, la composta aporta los elementos minerales habituales (N, P, K, Ca, Mg, etc.) pero en forma diluida y contiene todos los oligoelementos indispensables para las plantas (Zn, Mn, B, Fe, Cu, Co, etc.) (Ruíz, 2009). Brito *et al.* (2012) reportaron una cantidad de N ( $24\text{-}40 \text{ g kg}^{-1}$ ), P ( $4\text{-}7 \text{ g kg}^{-1}$ ), K ( $11\text{-}15 \text{ g kg}^{-1}$ ) y Ca ( $13\text{-}21 \text{ g kg}^{-1}$ ) del compost final de la fracción sólida de purines de bovinos y sugirieron que estos valores en materia seca de composts podrían ser efectivos como enmiendas para uso en la agricultura. Cook *et al.* (2015) reportaron un contenido de N total desde  $220.35$  a  $329.93 \text{ g kg}^{-1}$ , P  $18.92$  a  $28.73 \text{ g kg}^{-1}$  y K  $19.96$  a  $32.94 \text{ g kg}^{-1}$  en los diferentes composts obtenidos de las mezclas de purines de cerdo con aserrín durante los ensayos de compostaje conducidos en otoño de 2011 y primavera de 2012. El cuadro 3 muestra algunos parámetros reportados por varios autores en el compostaje de heces de ganado bovino.

Cuadro 3. Comparación de resultados en el compostaje de estiércol bovino.

Parámetro	Ahn <i>et al.</i> , 2011				El kader <i>et al.</i> , 2007				Lazcano <i>et al.</i> , 2008			
	Exp.1		Exp.2		Exp.1		Exp.2		Exp.1		Exp.2	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Temperatura °C	>65	15	>65	15	75	35	78	35	-	-	-	-
pH	-	-	-	-	-	-	-	-	7.70	8.6	7.7	7.85
Humedad %	76	71	76	76	-	-	-	-	-	-	-	-
CE	-	-	-	-	-	-	-	-	1.25	2.13	1.25	0.72
COt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nt	1.8	2.6	1.8	2.8	3.7	-	3.7	-	23.6	22.0	23.6	27.4
Ct	48	43	48	44	87	-	86	-	399.2	384.9	399.2	309.0
C/N	-	-	-	-	23.6	-	23.1	-	17	17.5	17	11.3
P	-	-	-	-	-	-	-	-	211	342	211	109

Fuente: Elaboración propia.

## 2.5 Normatividad

En México la regulación y vigilancia gubernamental sobre el uso y manejo de excretas animales es escasa y confusa, ya que solo se especifican ciertas normas sobre descargas de contaminantes al agua, restando importancia a emisiones a la atmósfera y contaminación del suelo (Pinos *et al.*, 2012).

La Norma ambiental para el Distrito Federal NADF-020-AMBT-2011, que establece los requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida y/o distribuida en el Distrito Federal, es uno de los grandes esfuerzos por implementar regulaciones en este tenor, sirviendo como base para la elaboración de composta y características generales que deben cumplir los productos obtenidos (Cuadro 4 y 5). De la misma manera, la Norma Técnica Estatal Ambiental NTEA-006-SMA-RS-2006, que establece los requisitos para la producción de los mejoradores de suelo elaborados a partir de residuos orgánicos, emitida por la Secretaria del Medio Ambiente del Estado de México, es otro apoyo para requisitar las características fisicoquímicas y sanitarias de los mejoradores de suelo obtenidos a partir del compostaje de residuos orgánicos. Los cuadro 6 y 7 muestran dichas características.

Cuadro 4. Características generales que deben cumplir los tipos de compostas.

Parámetro	TIPO DE COMPOSTA		
	A	B	C
Uso recomendado	Sustrato en viveros y sustituto de tierra para maceta	Agricultura ecológica y reforestación	Paisaje, áreas verdes urbanas y reforestación
Humedad	25-35 % en peso		25-45 % en peso
pH	6.7 – 7.5	6.5 – 8	
Conductividad eléctrica	< 4 dS/m	< 8 dS/m	< 12 dS/m
Materia orgánica	> 20% MS		> 25 % MS
Carbono total	Debe indicarse en la etiqueta el resultado del último análisis realizado		
Nitrógeno total % MS			
Relación C/N	< 15	< 20	< 25
Macronutrientes (NPK) En % MS	De 1% a 3% en cualquiera de ellos y su suma $\leq$ 7%: portará la leyenda “Composta - mejorador de suelos. Si cualquiera excede 3% o la suma es mayor a 7% Debe portar la leyenda “Composta para nutrición vegetal” y se indicarán las cantidades para cada macronutriente.		
Granulometría	$\leq$ 10mm	$\leq$ 30 mm	
Fitotoxicidad (IG)	IG $\geq$ 85 %	IG $\geq$ 75 %	IG $\geq$ 60 %
Diferencia de temperatura con el ambiente medida a una profundidad $\geq$ 50 cm	$\leq$ 10°C		$\leq$ 15°C

Fuente: Extraído de NADF-020-AMBT-2011.

En la siguiente tabla se especifican tres niveles de concentraciones máximas permisibles de elementos traza para los tres tipos de composta del cuadro anterior.

Cuadro 5. Concentraciones máximas de elementos traza en mg·kg-1 en base seca, que deben cumplir los tipos de composta.

<b>Nivel – tipo</b>	As	Cd	Cr total	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
<b>Nivel 1 - tipo A</b>	0.1	0.7	70	70	0.4	25	45	200
<b>Nivel 2 - tipo B</b>	0.7	1	70	150	0.7	60	120	500
<b>Nivel 3.- tipo C</b>	2.0	3	250	400- 500	3	100	200	1200- 1800

Fuente: Extraído de NADF-020-AMBT-2011.

Cuadro 6. Requisitos químicos y sanitarios para los mejoradores de suelo.

<b>Características</b>	<b>Método de determinación</b>	<b>Resultados</b>
<b>Parámetros Químicos</b>		
pH	NMX-AA-025-1984	6.5 A 8.0
Materia orgánica	NMX-AA-021-1985	mayor a 15%
Relación carbono-nitrógeno	NMX-AA-067-1985	menor a 12
Fosforo	NMX-AA-094-1985	mayor a 0.1% ó 1000 partes por millón
Potasio	Acetato de amonio pH 7 Anexo I	mayor a 0.25% ó 2,500 partes por millón
Relación potasio- sodio	Extracción con acetato de amonio pH 7 por absorción atómica o flamometría Anexo I	mayor a 2.5
<b>Parámetros microbiológicos</b>		
Hongos fitopatógenos	Siembra en agar dextrosa papa Anexo II	Ausente
Huevos de helmintos g en base seca <sup>(1)</sup>	Anexo III	Menor a 10
Coliformes fecales NMP <sup>(2)</sup> /g en base seca	Anexo IV	Menor a 1000
Salmonella spp G en base seca	Anexo V	Menor a 3

(1) Huevos de helmintos viables; (2) Número más probable.

Fuente: Extraído de NTEA-006-SMA-RS-2006

Cuadro II. Límites máximos permisibles de metales pesados en mejoradores de suelo.

<b>Contaminante</b>	<b>Límite máximo permisible ppm</b>	<b>Método de determinación</b>
<b>Arsénico</b>	5.0	Absorción atómica (Anexo VI)
<b>Cadmio</b>	1.0	Absorción atómica (Anexo VI)
<b>Cromo hexavalente</b>	5.0	Método colorimétrico de Difenilcarbazida (Anexo VII)
<b>Cobre</b>	30.0	Absorción atómica (Anexo VI)
<b>Plomo</b>	5.0	Absorción atómica (Anexo VI)
<b>Niquel</b>	5.0	Absorción atómica (Anexo VI)
<b>Zinc</b>	90	Absorción atómica (Anexo VI)

Fuente: Extraído de NTEA-006-SMA-RS-2006.

## 2.6 Utilización de las compostas

El objetivo de la producción de compostas es por un lado, reducir la fracción orgánica de los residuos y por el otro producir humus con el que se pueden enriquecer los suelos de cultivo (Ruíz, 2009).

El uso de las compostas brinda beneficios que se pueden clasificar de acuerdo con Labrador (1996) de la siguiente manera:

### *En el suelo*

- Mejora la estructura permitiendo una mayor aireación e infiltración del agua.
- Retiene mayor humedad y facilita el trabajo de la tierra.
- Evita la compactación del suelo.
- Incrementa las poblaciones microbianas benéficas y la actividad biológica del suelo.
- Aumenta el contenido de humus en el suelo.
- Disminuye la temperatura del suelo, donde ésta es muy alta.

### *En las plantas*

- Facilita la absorción de nutrimentos.
- Proporciona nitrógeno, fosforo, potasio y microelementos como el hierro, cobre, zinc y magnesio necesarios para su desarrollo.
- Favorece el crecimiento y la resistencia a plagas y enfermedades; los frutos y semillas son más y de mayor calidad.
- Puede ser usada como medio de trasplante y producción de plántula.

### *Para el hombre*

- Se aprovechan los restos orgánicos para obtener un producto final muy útil para el desarrollo de las plantas.
- No se genera contaminación en el proceso, y se reduce el volumen de residuos domésticos.
- Hay un ahorro en fertilizantes químicos; al tener plantas más fuertes el requerimiento es menor, significando un ahorro económico y cuidado al ambiente.

Sin embargo también existen desventajas que se derivan de los costos de instalación y mantenimiento, requerimientos de un agente de carga y requerimientos de áreas grandes para almacenamiento y operación (Bernal *et al.*, 2009). Parkinson *et al.* (2004) resalta que el compostaje de estiércoles es justificable cuando éstos necesitan una estabilización parcial y también cuando se produce compost de alta calidad, ya que compensa los costos de producción.

## 2.7 BIBLIOGRAFÍA

- Acosta Y., Zauahre M.E., Rodríguez L., Reyes N., Rojas D. 2012a. Indicadores de calidad bioquímica y estabilidad de la materia orgánica durante el proceso de compostaje de residuos orgánicos. *Multiciencias* 12 (4), 390-399.
- Acosta Y., Zárraga A., Rodríguez L., Zauahre M.E. 2012b. Cambios en las propiedades fisicoquímicas en el proceso de compostaje de lodos residuales. *Multiciencias* 12 (Extraordinario), 18-24.
- Ahn H.K., Mulbry W., White J.W., Kondrad S.L. 2011. Pile mixing increases greenhouse gas emissions during composting of dairy manure. *Bioresour Technol.* 102, 2904-2909.
- Asia I.O., Oladoja N.A., Bamuzo-pemu E.E. 2006. Treatment of textile sludge using anaerobic technology. *Afr. J. Biotechnol.* 5 (18), 1678-1683.
- Azzez J.O., Van Averbeke W. 2010. Nitrogen mineralization potential of three animal manures applied on a sandy clay loam soil. *Bioresour. Technol.* 101, 5645-5651.
- Benito M., Masaguer A., De Antonio R., Moliner A. 2005. Use of pruning waste compost as a component in soilless growing media. *Bioresour Technol.* 96, 597-603.
- 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.
- Brito L.M., Coutinho J., Smith S.R. 2008. Methods to improve the composting process of the solid fraction of dairy cattle slurry. *Bioresour. Technol.* 99, 8995-8960.
- Brito L.M., Mourao I., Coutinho J., Smith S.R. 2012. Simple technologies for on-farm composting of cattle slurry solid fraction. *Waste Manage.* 32, 1332-1340.
- California Compost Quality Council (CCQC). 2001. Compost maturity index. Technical Report.
- Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste, S.C. (CIB). 2013. La composta.: importancia, elaboración y uso. Editorial Trillas. México, D.F. 72 p.



- Chen Y., Cheng J.J., Creamer K.S. 2008. Inhibition of anaerobic digestion process: A review. *Bioresour Technol.* 99, 4044–4064.
- 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.M., Cestonaro T., Costa L.A.M., Rozatti M.A.T., Carneiro L.J., Pereira D.C., Lorin H.E.F. 2014. Improving the nutrient content of sheep bedding compost by adding cattle manure. *Journal of cleaner Production* XXX: 1-6.
- De Guardia A., Mallard P., Teglia C., Marin A., Le Pape C., Launay M., Benoist C., Petoit C. 2010. Comparison of five organic wastes regarding their behaviour during composting: Part 1, biodegradability, stabilization kinetics and temperature rise. *Waste Manage.* 30, 402-414.
- De la Cruz L.E., Osorio O.R., Martínez M.E., Lozano D.R.A.J., Gómez V.A., Sánchez H.R. 2010. Uso de compostas y vermicompostas para la producción de tomate orgánico en invernadero. *Interciencia* 35 (5), 363-368.
- Diaz L.F., De Bertoldi M., Bidlingmaier W., Stentiford E. 2007. *Compost Science and Technology*. Waste Management Series 8. Elsevier. Amsterdam, The Netherlands. 357 p.
- El Kader N.A., Robin P., Paillat J.M., Leterme P. 2007. Turning, compacting and the addition of water as factors affecting gaseous emissions in farm manure composting. *Bioresour Technol.* 98, 2619-2628.
- Evanylo G., Sherony C., Spargo J., Starner D., Brosius M., Haering K. 2008. Soil and water environmental effects of fertilizer-, manure-, and compost-based fertility practices in an organic vegetable cropping system. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 127, 50-58.
- Fernández F.J., Sánchez A.V., Villaseñor J., Rodríguez L. 2008. Evaluation of carbon degradation during co-composting of exhausted grape marc with different biowastes. *Chemosphere* 73, 670-677

- Guo R., Li G., Jiang T., Schuchardt F., Chen T., Zhao Y., Shen Y. 2012. Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost. *Bioresour. Technol.* 112, 171-178.
- Hernández-Rodríguez, O.A., Hernández-Terrocal A., Rivera-Figueroa C., Arras-Vota A.M, Ojeda-Barrios D. 2013. Calidad nutrimental de cuatro abonos orgánicos producidos a partir de residuos vegetales y pecuarios. *Terra Latinoamericana* 31 (1), 35-46.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2016. Anuario estadístico y geográfico de los Estados Unidos Mexicanos 2015. Disponible en línea: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/biblioteca/ficha.aspx?upc=702825077280>  
Fecha de consulta 20 de agosto de 2016.
- Jha A.K., Li J., Nies L., Zhang L. 2011. Research advances in dry anaerobic digestion process of solid organic wastes. *African Journal of Biotechnology* 10 (65), 14242-14253.
- Karthikeyan O.P., Visvanathan C. 2013. Bio-energy recovery from high-solid organic substrates by dry anaerobic bio-conversion processes: a review. *Rev Environ Sci Biotechnol.* 12, 257–284.
- Kulcu, R., Yaldiz O. 2004. Determination of aeration rate and kinetics of composting some agricultural wastes. *Bioresour Technol.* 93, 49-57.
- Kulcu, R., Yaldiz O. 2007. Composting of goat manure and wheat straw using pine cones as a bulking agent. *Bioresour Technol.* 98, 2700-2704.
- Labrador M.J. 1996. La materia orgánica en los agrosistemas. Ediciones Mundi-.Prensa. España 174pp.
- Lazcano C., Gómez-Brandón M., Domínguez J. 2008. Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. *Chemosphere* 72, 1013-1019
- Li Y., Park S.Y., Zhu J. 2011. Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 821-826.

- López A.M., Poot M.J.E., Mijangos C.M.A. 2012. Respuesta del chile habanero (*Capsicum chinense* L. Jacq) al suministro de abono orgánico en Tabasco, México Revista Científica UDO 308 Agrícola 12 (2), 307-312.
- Mirabelli E. 2008. El compostaje proyectado a la lombricultura. 1ª. Ed. Editorial Hemisferio Sur S.A. Argentina 324pp.
- Oviedo-Ocaña E.R., Marmolejo-Rebellón L.F., Torres-Lozada P. 2014. Influencia de la frecuencia de volteo para el control de la humedad de los sustratos en el compostaje de biorresiduos de origen municipal. Revista Internacional de Contaminación Ambiental 30 (1), 91-100.
- Parkinson R., Gibbs P., Burchett S., T. Misselbrook. 2004. Effect of turning regime seasonal weather conditions on nitrogen and phosphorus losses during aerobic composting of cattle manure. Bioresour Technol. 91: 171-178.
- Pinos-Rodríguez J.M., García-López J.C., Peña-Avelino L.Y., Rendón-Huerta J.A., González-González C., Tristán-Patiño F. 2012. Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. Agrociencia 46: 359-370.
- Ruíz B A. 2012. Compostaje. Aprovechamiento de los residuos orgánicos. 1a Ed. Colegio de Posgraduados. México 50pp.
- Ruíz F.J.F. 2009. Ingeniería del compostaje. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 237 pp.
- SEDEMA 2012. Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-020-AMBT-2011. Requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida y/o distribuida en el distrito federal. Secretaria del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. Gaceta Oficial del Distrito Federal. 30 de noviembre de 2012.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2015. Base de datos del Inventario

Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 2013 del sector Agropecuario. En: Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. México.

SIAP. 2016. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. [<http://www.siap.gob.mx/poblacion-ganadera/>]. Documento en línea. Fecha de consulta 20 de agosto de 2016.

SMA. 2006. Norma Técnica Estatal Ambiental NTEA-006-SMA-RS-2006. Requisitos para la producción de los mejoradores de suelos elaborados a partir de residuos orgánicos. Secretaria de Medio Ambiente. Gaceta del Gobierno. 9 de octubre de 2006.

Szabová E., Juriš P., Papajová I. 2010. Sanitation composting process in different seasons. *Ascaris suum* as model. Waste manage. 30, 426-432.

Tirado, S.M. 2008. Effects of turning frequency, pile size and season on physical, chemical and biological properties during composting of dairy manure/sawdust (dm+s). M.S Thesis, The Ohio State University. 155p.

Torres C.L. s/f. Elaboración de composta SAGARPA Subsecretaria de Desarrollo Rural, Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural.

Trautmann N. 2000. National Engineering Handbook: Composting. [documento en línea] disponible: <http://www.cfe.cornell.edu/compost/microorg.html>.

Zaragoza L.M.M., Preciado R.P., Figueroa V.U., García H.J.L., Fortis H.M., Segura C.M.Á., Lagarda M.Á., Madero T.E. 2011. Aplicación de composta en la producción del nogal pecanero. Revista Chapingo Serie Horticultura, 17 (1), 33-37.

### III. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Justificación

En el comienzo del presente siglo, se plantearon las metas de incrementar la productividad agronómica y mejorar la calidad ambiental, ya que el crecimiento continuo de la población humana mundial influye en el aumento de la producción de alimentos, lo que conlleva a la degradación de los suelos agrícolas. De la misma manera, ya que de los alimentos generados por el sector agrícola, el 40% son de origen animal, algunos grupos ambientalistas consideran que la industria pecuaria tiene gran responsabilidad en el calentamiento global por la generación de contaminantes vertidos al suelo, agua y atmósfera.

Las heces pecuarias causan un impacto ambiental como generación de gases de efecto invernadero, eutrofización de cuerpos de agua y sobrecarga de nutrientes en suelos de cultivo. El suelo puede ser afectado por las heces si éstas contienen altas concentraciones de nutrientes (nitrógeno y fósforo), microorganismos patógenos antibióticos, etc.

El manejo sustentable de los sistemas de producción, promueve prácticas para preservar los recursos naturales y permiten hacer un uso eficiente y adecuado de los residuos que se derivan directa o indirectamente del sector agropecuario. Las heces pecuarias son un recurso valioso para la obtención de composta con uso como mejorador de suelos o abono orgánico para cultivos.

El compostaje de las heces pecuarias es una alternativa para su sanitización y adecuada mineralización de los elementos necesarios para las plantas. En México existen pocas publicaciones que aborden este tema, ya que el proceso de compostaje está enfocado principalmente en el tratamiento de lodos residuales y residuos orgánicos municipales.

Por tal razón, surgió el interés de realizar esta investigación que permitió evaluar y comparar tanto el proceso como la calidad del producto de diferentes estiércoles pecuarios durante diferentes estaciones del año.

## **3.2 Hipótesis**

Las compostas elaboradas con heces de bovinos, caprinos, equinos y ovinos difieren en sus características físicas y químicas de acuerdo al período del año en el que se realizan.

## **3.3 Objetivos**

### **3.3.1 Objetivo general**

Comparar las características físicas y químicas de compostas elaborado con heces de bovinos, caprinos, equinos y ovinos, durante las estaciones del año.

### **3.3.2 Objetivos específicos**

- Evaluar las características físicas y químicas de compostas obtenidas a partir de heces de bovinos, caprinos, equinos y ovinos durante el verano.
- Comparar las características físicas y químicas de compostas elaboradas con heces de bovinos, caprinos, equinos y ovinos bajo dos métodos de ventilación: manual con pala y pilas con tubos de policloruro de vinilo perforados, durante el invierno.
- Comparar las características físicas y químicas de compostas elaboradas con heces de bovinos, caprinos, equinos y ovinos bajo dos métodos de ventilación: manual con pala y pilas con tubos de policloruro de vinilo perforados, durante la primavera; así mismo, identificar y cuantificar los microorganismos benéficos presentes en los compostas obtenidas y evaluar el índice de germinación de rábano (*Raphanus sativus*).

## **IV. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1 Ubicación del área de estudio**

El trabajo de campo se realizó en el área de compostaje del Rancho “El Salitre” del Centro Universitario UAEM-Temascaltepec, localizado en el municipio de San Simón de Guerrero, en la región subtropical en el Sureste del Estado de México a 100°6′27″ O y 19°2′8″ N, a 1800 msnm. La temperatura media anual es de 17°C. La precipitación anual es de 1200 mm. El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano (Cw) (INEGI 2009).

### **4.2 Residuos orgánicos**

Las heces de bovinos (Bo), caprinos (Ca) y ovinos (Ov) fueron colectadas de los corrales de cada especie del Rancho “El Salitre” y las de equinos (Eq) fueron colectadas del Centro de Equinoterapia ubicado también dentro del mismo rancho. Las heces estaban mezcladas con residuos de la alimentación de las especies animales y se colectaron de acuerdo a la disponibilidad por especie de los corrales donde estaban acumuladas por dos meses. Las heces de equino se colectaron de una pila donde se acumulaba semanalmente. La alimentación de las especies pecuarias fue diferente durante el periodo experimental de acuerdo a la época de lluvias ó estiaje (cuadro 8). El suplemento alimenticio de los bovinos fue a base de soya, maíz molido, sorgo 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 2703.20 mg; K 2439 mg). 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). El agua fue suministrada a libre acceso en todas las especies.

Cuadro 8. Alimentación de las especies pecuarias durante el período de estiaje y lluvias.

<b>Alimentación del ganado por épocas</b>	<b>Estiaje</b>	<b>Lluvias</b>
<b>Bovinos</b>	Alimento balanceado libre acceso (60% avena, 20% sorgo, 10% soya y 10% minerales)	Pastoreo (gramíneas tropicales) y suplemento 2 kg día <sup>-1</sup> (sorgo, maíz, soya y minerales)
<b>Caprinos</b>	Pastoreo 60% pasto nativo + rastrojo de maíz con grano. En corral mañana y tarde suplemento 250-300g.	Pastoreo 100 % pasto nativo estrella y otras especies.
<b>Ovinos</b>	Pastoreo 60% pasto nativo + rastrojo de maíz con grano. En corral mañana y tarde suplemento 250-300g.	Pastoreo 100 % pasto nativo estrella y otras especies.
<b>Equinos</b>	Avena henificada	Avena henificada

Fuente: Elaboración propia

Las heces pecuarias utilizadas en esta investigación fueron analizadas químicamente durante los períodos de lluvias y estiaje donde las especies tuvieron variación en la alimentación. La toma de las muestras durante los dos períodos se describe en los apartados de metodología 4.3.1.2 y 4.3.2.1 respectivamente. Los análisis químicos realizados a las heces pecuarias durante los dos períodos se muestran en los cuadros 1 de los apartados de resultados 5.1.5 y 5.2.5 respectivamente.

#### **4.3 Metodología general**

La metodología descrita a continuación se dividió en tres etapas, cada una corresponde al período estacional en el que fueron realizadas las pilas de compostaje. El período experimental total comprendió las diferentes estaciones del año entre el verano de 2014 a primavera de 2015. Se realizaron diferentes experimentos durante las etapas.



La elaboración de las compostas se realizó de acuerdo a las medidas de control del proceso para la producción de los mejoradores de suelo a partir de residuos orgánicos según la Norma Técnica Estatal Ambiental NTEA-006-SMA-RS-006 (SMA, 2006).

#### **4.3.1 Etapa 1. Compostaje de verano**

En esta etapa el proceso de compostaje se llevó a cabo durante el período de lluvias de agosto a septiembre de 2014 (figura 1).

##### **4.3.1.1 Elaboración de las pilas de compostaje**

En este experimento se formaron tres pilas de compostaje de 80 kg de cada tipo de heces frescas: bovino (HB), caprino (HC), equino (HE) y ovino (HO) y fueron distribuidas al azar sobre el suelo al aire libre. Durante el proceso de compostaje las pilas fueron cubiertas con plásticos de nylon para evitar que fueran extra-humedecidas por las lluvias y los nutrientes se perdieran por lixiviación, sin embargo, esto no era del todo posible porque el exceso de agua en el suelo era absorbido por las heces capilarmente. Las pilas fueron volteadas con pala cada semana para reducir la humedad. Se midió la temperatura, el pH y la humedad cada tercer día (figura 2). El proceso de compostaje duró 45 días.



*Figura 1. Pilas de compostaje en verano.*

#### 4.3.1.2 Variables analizadas en heces y composta

Antes de montar las pilas de compostaje y al finalizar el proceso de compostaje (día 45) se tomó al azar una muestra de 500 g a profundidad de 10 cm en tres puntos de cada pila. Las muestras (i.e. 12 muestras) se secaron a temperatura ambiente, se colocaron en bolsas de nylon y fueron analizadas en el Laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEM. En el laboratorio Phytomonitor S.A. de C.V. se analizaron los microelementos tanto de las heces como en las compostas. pH usando un potenciómetro (HANNA Instruments 8521) en una disolución 1:4 (p/v). El contenido de MO (%) y Corg (%) por combustión húmeda de acuerdo al método de Walkley-Black modificado, donde  $\%MO = \%Corg * 1.724$ . El contenido de nitrógeno total Nt (%) por método MicroKjendahl (titulométrico). La capacidad de intercambio catiónico CIC ( $Cmol\ kg^{-1}$ ) por el método del cloruro de bario y trietanolamina (Serrato y Landeros, 2001). La C/N fue calculada a partir de la siguiente ecuación:  $C/N = \%MO (0.58) / \%Nt$  (Paneque *et al.*, 2010). 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 de flamómetro. El hierro, zinc, cobre y manganeso por (digestión) absorción atómica (lámpara cat. hueco) y el boro por el método azomethine-H (colorimétrico). Los análisis de cada variable se realizaron por triplicado.



*Figura 2. Mediciones de temperatura y conductividad eléctrica.*

#### 4.3.1.3 Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado. Los tratamientos fueron las compostas obtenidas del proceso de compostaje de cada tipo de heces: T1: composta de HB, T2: composta de HC, T3: composta de HE y T4: composta de HO. Cada tratamiento tuvo tres replicas. Las variables de la caracterización química del compost se analizaron utilizando un análisis de varianza a través del comando de modelo general lineal de MINITAB for Windows Release 12.21. La comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ).

#### 4.3.2 Etapa 2. Compostaje de otoño-invierno

El proceso de compostaje se realizó durante noviembre de 2014 a enero de 2015.

##### 4.3.2.1 Tratamientos

Se realizó un experimento de compostaje para cada tipo de heces mezcladas con restos de la alimentación. En cada experimento se utilizaron dos métodos de ventilación: manual con pala (Vm) y con tubos de policloruro de vinilo perforados (Vt) (figura 3).

Para cada experimento se utilizó un diseño completamente aleatorizado donde los tratamientos fueron: Exp 1 compost heces bovino (CBo+Vm, CBo+Vt), Exp 2 compost heces caprino (CCa+Vm, CCa+Vt), Exp 3 compost heces equino (CEq+Vm, CEq+Vt) y Exp 4 compost heces ovino (COv+Vm, COv+Vt) cada uno con tres replicas (pilas).

La Vm consistió en voltear las pilas el día 15 y 30 (El Kader *et al.* 2007) después de haber iniciado el compostaje, utilizando una pala de excavación para jardín Trupper (33.5 x 26.2 x 103 cm). La Vt consistió en colocar horizontalmente dos tubos plásticos de policloruro de vinilo de 1 m de largo y 10 cm de diámetro en el interior de cada pila. 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.

En cada experimento las heces se pesaron, se humedecieron a un 60% con agua potable (analizador de humedad para suelo Keyway) excepto las heces de bovino que contenían humedad mayor a 80% y posteriormente se formaron seis pilas cónicas. Las pilas de los experimentos 1 y 4 fueron de 100 kg midiendo 0.8 m de alto y 1 m de diámetro en la base. Exp 2 fueron de 50 kg midiendo 0.6 m de alto y 0.8 m de diámetro en la base. Exp 3 fueron de 50 kg y presentaron la misma medida al experimento 1 y 4 debido a la menor densidad del estiércol (báscula línea industrial, Nuevo León S.A de C.V.). Las pilas se acomodaron al aire libre bajo la sombra de árboles de pinos (*Pinus* sp) sobre una película plástica de nylon. Antes de montar las pilas se tomaron al azar dos muestras de 1 kg de cada tipo de heces, se colocaron en bolsas de nylon previamente etiquetadas y se enviaron inmediatamente en cajas térmicas con bolsas de gel congeladas entre las muestras al laboratorio para su análisis químico.



*Figura 3. Pilas de compostaje con dos métodos de ventilación: manual y con tubos.*

#### 4.3.2.2 Variables analizadas

Durante el proceso de compostaje se mantuvo la humedad de las pilas al 60% agregando agua potable. La temperatura del sustrato se midió en tres sitios seleccionados al azar en cada pila, dos veces por semana durante las primeras tres y una vez las restantes,

utilizando un termómetro de carátula para compost TFA, y ésta fue considerada el indicador del final del proceso cuando se estabilizó a valores cercanos a la temperatura ambiental (20°C) (Mirabelli 2008). Cuando la temperatura se estabilizó a 20°C, se tomaron al azar en cada pila tres submuestras a profundidad de 10 cm, obteniendo dos muestras compuestas de 1 kg por tratamiento (i.e. 4 muestras/experimento) las cuales se manejaron similarmente a las muestras de las heces y se enviaron al laboratorio para su análisis. Las variables analizadas en los heces y composts fueron: potencial de hidrogeno (pH) por lectura potenciométrica en solución de agua destilada/muestra relación 1:5 (HANNA Instruments 8521), conductividad eléctrica (CE) (dS m<sup>-1</sup>) con conductímetro DR-3900 PerkinElmer (relación 1:5), materia orgánica (MO) (%) por calcinación en mufla, carbono orgánico (C) (%) mediante ecuación  $C = \%MO / 1.724$ , nitrógeno total (N) (%) por método MicroKjeldahl titulométrico, relación carbono/nitrógeno (C/N) por ecuación  $C/N = \%C / \%N$ , fosfatos (PO<sub>4</sub>) (mg kg<sup>-1</sup>) método Morgan colorimétrico y boro (B) (mg kg<sup>-1</sup>) por método Azomethine-H colorimétrico (Espectrómetro Ultravioleta/visible Cary 50). Sulfatos (SO<sub>4</sub>) (mg kg<sup>-1</sup>) por método turbidimétrico, potasio (K), magnesio (Mg), sodio (Na), calcio (Ca), hierro (Fe), zinc (Zn), cobre (Cu), manganeso (Mn) (mg kg<sup>-1</sup>) por absorción atómica L.C.H. (digestión) (Analyst 400 Spectrometer PerkinElmer). Las características químicas de estiércoles y compostas se analizaron según la norma mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008 (SEECO 2008) en laboratorio Phytomonitor S.A. de C.V. por duplicado. Las normas Mexicanas NTEA-006-SMA-RS-2006 (SMA 2006) y NADF-020-AMBT-2011 (SEDEMA 2012) se tomaron como referencia para comparar la calidad de las compostas obtenidas.

#### 4.3.2.3 Análisis Estadístico

Se realizó un análisis de varianza de una vía (ANOVA-One-Way) con las variables de la composición química de cada experimento. La temperatura se analizó utilizando un ANOVA con medias repetidas a través del tiempo. Se utilizó el comando del modelo general lineal (GLM) del Programa MINITAB for Windows Release 12.21 y la comparación de medias fue mediante prueba de Tukey (P<0.05).

### 4.3.3 Etapa 3. Compostaje de primavera

En esta etapa el proceso de compostaje se realizó durante marzo y abril de 2015 (figura 4).

#### 4.3.3.1 Tratamientos

En esta etapa se realizó un experimento de compostaje con las diferentes heces pecuarias: compostaje de heces bovinas (CBo), compostaje de heces caprinas (CCa), compostaje de heces equinas (CEq) y compostaje de heces ovinas (COv). Cada uno de los compostajes fue realizado con dos métodos de ventilación: ventilación manual (Vm) y ventilación con tubos perforados (Vt). La Vm consistió en voltear las pilas el día 15 y 30 (El Kader et al. 2007) después de haber iniciado el compostaje, utilizando una pala de excavación para jardín Trupper (33.5 x 26.2 x 103 cm) (figura 5). La Vt consistió en colocar horizontalmente tres tubos plásticos de policloruro de vinilo de 1 m de largo y 10 cm de diámetro en el interior de cada pila. 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.

Se pesaron 100 kg de cada tipo de heces en peso fresco, posteriormente se humedecieron al 60 % (analizador para suelo Keyway) con agua potable y se formaron cuatro pilas para cada condición experimental: CBo+Vm, CBo+Vt, CCa+Vm, CCa+Vt, CEq+Vm, CEq+Vt, COv+Vm y COv+Vt.

La construcción de las pilas fue en forma cónica y se distribuyeron en un diseño completamente aleatorizado sobre una película plástica de nylon al aire libre bajo la sombra de árboles de pinos (*Pinus* sp).



*Figura 4. Pilas de compostaje en el período de primavera de 2015.*



*Figura 5. Método de ventilación manual.*



*Figura 6. Método de ventilación con tubos.*

#### 4.3.3.2 Mediciones durante el proceso

Durante el compostaje se midió e identificó el tiempo de aparición y término de las siguientes fases: mesófila, termófila, enfriamiento y maduración. En cada pila se midió diariamente la temperatura (°C) con termómetro de carátula para suelo (TFA) en la cima y en la parte media durante los primeros 15 días después de haber iniciado el proceso y cada tercer día hasta concluir el proceso. Las pilas que registraban una humedad menor al 60% fueron humedecidas con agua potable semanalmente. Las pilas con ventilación manual fueron humedecidas durante los dos eventos de volteo el día 15 y 30. El peso de masa de las pilas fue medido con una báscula de línea industrial (Básculas Nuevo León S.A. de C.V.) al inicio y al final del proceso para estimar la pérdida de masa a partir de la diferencia entre las mediciones de las heces al inicio y al final del proceso de compostaje para lo cual se secó una sub-muestra de 200 g en un horno a 40°C, la masa se llevó a valor constante para calcular la pérdida en materia seca.



#### 4.3.3.3 Mediciones en las compostas

Al final del proceso (día 45), se tomó al azar una muestra de 500 g a una profundidad de 10 cm de tres pilas de cada condición experimental para realizar análisis químico y otra muestra de 500 g para análisis microbiológico. Los análisis químicos se realizaron en el Laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas UAEM, las muestras fueron secadas a temperatura ambiente dentro del laboratorio y colocadas en bolsas de plástico para su análisis posterior. Los análisis microbiológicos se realizaron en el laboratorio Phytomonitor S.A. de C.V., las muestras frescas se colocaron en bolsas de nylon previamente etiquetadas y se enviaron inmediatamente en cajas térmicas con bolsas de gel congeladas entre las muestras al laboratorio para su análisis.

##### 4.3.3.3.1 Análisis químico

Se determinaron las siguientes variables: potencial hidrogeno (pH) y conductividad eléctrica (CE) en una solución 1:4 con agua destilada; lectura en potenciómetro (HANNA Instruments 8521) y conductímetro (Conductronic CL35). Contenido de humedad (H) por diferencia de pesos, secado en estufa a 105°C hasta obtener un peso constante. Capacidad de intercambio catiónico (CIC) por el método de cloruro de bario-trietanolamina (Serrato y Landeros 2001). Materia orgánica (MO) y carbono orgánico (C) por el método de Walkley y Black modificado (Serrato y Landeros 2001). Para la determinación de elementos totales se realizó una digestión de las muestras para la destrucción de la MO con Ácido sulfúrico concentrado y Selenio (Paneque, 2010). El fósforo (P) se determinó por el método colorimétrico lectura en espectrofotómetro con longitud de onda 650 nm (Espectronic 20D) (Paneque, 2010). El calcio (Ca) se determinó por el método del jabón y lectura en espectrofotómetro 420 milimicras (Espectronic 20D). El magnesio (Mg) se determinó por el método del amarillo de titán y lectura en espectrofotómetro a 550 milimicras de longitud de onda (Espectronic 20D). El potasio (K) y sodio (Na) por método flamómetro (Corning Flame Photometer 410). El nitrógeno por método Semimicro-Kjeldahl (Serrato y Landeros, 2001) (figuras 7 y 8).

#### 4.3.3.3.2 Análisis microbiológico

Se realizó un análisis Fito-benéfico de las compostas para el aislamiento e identificación de microorganismos fitobeneficos mediante la siembra por dilución sobre placas de medio de cultivo para: bacterias (aislamiento en medio BK en condiciones aeróbicas y anaeróbicas), bacterias nitrificantes (aislamiento en medio ELMAR), hongos (aislamiento en medios PDA y PDA-AL) y actinomicetos (aislamiento en medio Agar nutritivo). Su identificación se realizó mediante observación de la morfología macroscópica (morfología colonial) y microscópica (estructura micelio y esporas), tinciones y exposición a luz UV.

#### 4.3.3.3.3 Índice de germinación

Se realizó una prueba de germinación (figura 9) directamente sobre las compostas para determinar la sensibilidad del rabanito (*Raphanus sativus*) conforme a lo establecido por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste S.C. (CIB, 2013). Se utilizó una charola de germinación de forrajes para cada una de las compostas obtenidas de cada condición experimental. Cada charola se dividió en cuatro partes y fueron llenadas con la composta proveniente de cada repetición. Se colocaron 10 semillas por repetición. Se utilizó un acharola como grupo control con tierra de monte. Se proporcionó un riego con agua potable cada tercer día en todas las charolas. Después de siete días se realizó el conteo de las semillas germinadas en cada charola y se calculó el índice de germinación.

#### 4.3.3.4 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza mediante un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial 4 X 2 con las variables de la composición química e índice de germinación. Se realizó una correlación lineal para investigar la relación entre las variables monitoreadas. El análisis estadístico se llevó a cabo mediante el comando del modelo general lineal (GLM) del Programa MINITAB for Windows Release 12.21 y la comparación de medias fue mediante prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ).

#### 4.4 Análisis estadístico general

Para determinar variaciones en las características químicas de las compostas obtenidas en las diferentes etapas de esta investigación se utilizaron los valores de las medias y desviación estándar de dos réplicas de cada tipo de heces. Se usó el programa MINITAB for Windows Release 12.21 para el análisis de varianza.



*Figura 7. Análisis químico de las compostas (lectura en Espectrofotómetro).*



*Figura 8. Análisis químico de las compostas (titulación).*



*Figura 9. Prueba de germinación en las compostas.*

## V. RESULTADOS

### 5.1 Características químicas de compostas elaboradas con heces de origen pecuario

#### 5.1.1 Portada e índice de memoria electrónica del IV congreso Internacional de Agronomía Tropical



<b>PÉRDIDA DE PESO DE RAMBUTÁN ‘JET LEE’, ‘R 134’ Y ‘BOMBÓN’ (NUEVA VARIEDAD) (<i>NEPHELIUM LAPPACEUM</i> LINN) EN POSCOSECHA.....</b>	<b>30</b>
ELBERT SANTOS ORDOÑEZ-DIAZ <sup>1</sup> , IRÁN ALIA-TEJACAL <sup>2</sup> , SAÚL ESPINOSA-ZARAGOZA <sup>1*</sup> , JUAN MANUEL VILLAREAL-FUENTES <sup>1</sup> , CARLOS GERARDO-MÉNDEZ <sup>3</sup> Y BLANCA FLOR SOLÍS- GUZMÁN <sup>1</sup> .....	30
<b>EVALUACIÓN DE MATERIALES DE ZAPOTE MAMEY (<i>POUTERIA SAPOTA</i> JACQ. MOORE &amp; STEARN) CON POTENCIAL COMERCIAL.....</b>	<b>31</b>
NELLY LUVI VELÁZQUEZ-ROBLERO <sup>1</sup> , SAÚL ESPINOSA-ZARAGOZA <sup>1*</sup> , BRENDA ELIZABETH MEZA-SANDOVAL <sup>3</sup> , ORLANDO LÓPEZ-BÁEZ <sup>2</sup> , SANDRA ISABEL RAMÍREZ-GONZÁLEZ <sup>2</sup> Y JOSÉ LUIS RANGEL-ZARAGOZA <sup>4</sup> .....	31
<b>DETECCIÓN DE MICROORGANISMOS PATÓGENOS EN QUESOS FRESCOS TROPICALES.....</b>	<b>32</b>
JAVIER CUSTODIO HERNÁNDEZ <sup>1*</sup> , RAFAEL ANTONIO FLORES SANTOS <sup>2</sup> Y JUAN MANUEL ZALDÍVAR CRUZ <sup>1</sup> .....	32
<b>EJE TEMÁTICO III .....</b>	<b>33</b>
<b>AGRICULTURA Y MEDIO AMBIENTE .....</b>	<b>33</b>
<b>ANÁLISIS DE LA DINÁMICA HÍDRICA SUPERFICIAL DEL HUMEDAL CHASCHOC EN EMILIANO ZAPATA, TABASCO.....</b>	<b>34</b>
MARIANA QUEZADAS BARAHONA <sup>1*</sup> , JUAN DE DIOS MENDOZA PALACIOS <sup>2</sup> , ERIC MORALES CACIQUE <sup>3</sup> , ALBERTO JESÚS SÁNCHEZ MARTÍNEZ <sup>4</sup> Y MIGUEL ÁNGEL SALCEDO MEZA <sup>5</sup> .....	34
<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE CINCO SUELOS AGRÍCOLAS DE YUCATÁN UTILIZADOS EN LA PRODUCCIÓN DE CHILE HABANERO .....</b>	<b>35</b>
JONATHAN SOLACHE-MAY* Y LIZETTE BORGES-GÓMEZ.....	35
<b>CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE COMPOSTAS ELABORADAS CON HECES DE ORIGEN PECUARIO .....</b>	<b>36</b>
SONIA LÓPEZ FERNÁNDEZ <sup>2</sup> , FRANCISCA AVILÉS NOVA* <sup>1</sup> , OCTAVIO ALONSO CASTELÁN ORTEGA <sup>3</sup> Y RODOLFO SERRATO CUEVAS <sup>4</sup> .....	36
<b>CAMBIOS QUÍMICOS EN UN SUELO LUVISOL CRÓMICO POR APORTES DE COMPOSTA EN MACUSPANA TABASCO, MÉXICO .....</b>	<b>37</b>
RUFO SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ <sup>1*</sup> , OSVALDO B. DE LA CRUZ-HERNÁNDEZ <sup>1</sup> , ULISES LÓPEZ- NOVEROLA <sup>1</sup> , VÍCTOR M. ORDAZ CHAPARRO <sup>2</sup> , MIGUEL A. PÉREZ-MÉNDEZ <sup>3</sup> , MAXIMIANO A. ESTRADA-BOTELLO <sup>1</sup> Y JUAN DE DIOS MENDOZA PALACIOS <sup>1</sup> .....	37
<b>CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LOMBRICOMPOST DE DOS SUTRATOS ORGANICOS: HECES BOVINOS Y EQUINOS.....</b>	<b>38</b>
VIANEY COLÍN NAVARRO <sup>2</sup> , AVILÉS NOVA FRANCISCA* <sup>1</sup> , SONIA LÓPEZ FERNÁNDEZ <sup>2</sup> RÍOS GARCÍA LUIS MANUEL <sup>1</sup> Y BENITO ALBARRÁN PORTILLO <sup>1</sup> .....	38
<b>COMPORTAMIENTO DEL LLENADO DE FRUTOS DE CAFÉ AL BIOFERTILIZANTE BIOCAFÉ CASHI EN CONCEPCIÓN PINADA, SILTEPEC, CHIAPAS, MÉXICO .....</b>	<b>39</b>
ANTONIO GUTIÉRREZ-MARTÍNEZ*, CARLOS ERNESTO AGUILAR JIMÉNEZ, JOSÉ GALDÁMEZ GALDÁMEZ Y FRANKLIN B. MARTÍNEZ AGUILAR.....	39

## 5.1.2 Resumen

### CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE COMPOSTAS ELABORADAS CON HECES DE ORIGEN PECUARIO

Sonia López Fernández<sup>2</sup>, Francisca Avilés Nova\*<sup>1</sup>, Octavio Alonso Castelán Ortega<sup>3</sup> y Rodolfo Serrato Cuevas<sup>4</sup>.

<sup>1</sup>Centro Universitario Temascaltepec, Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). <sup>2</sup>Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales UAEM <sup>3</sup>Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia UAEM, <sup>4</sup>Facultad de Ciencias Agrícolas UAEM \*Email: franavilesnova@yahoo.com.mx

**Resumen.** El manejo sustentable de los sistemas de producción, promueve prácticas para preservar los recursos naturales y hacer uso eficiente y adecuado de los residuos derivados del sector agropecuario (Hernández *et al.*, 2013). El composteo brinda un producto orgánico higiénicamente seguro, sin riesgo de transmisión de patógenos al ambiente cuando es usado en la agricultura (Szabová *et al.*, 2010). El objetivo del trabajo fue evaluar la composición química de compostas elaboradas con heces de bovinos (HB), caprinos (HC), ovinos (HO) y equinos (HE), respecto a las variables pH, Materia orgánica (MO), Carbono orgánico (CO), nitrógeno total (NT), relación C/N, fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y sodio (Na). El experimento de composteo se realizó en el Rancho “El Salitre” del Centro Universitario UAEM Temascaltepec, localizado en la región sub-tropical del sur del Estado de México. Se evaluaron 4 tratamientos: T1:composta de HB,T2: composta de HC, T3: composta HE y T4: composta HO. En cada tratamiento se formaron 3 pilas en el suelo de 80 kg de heces frescas. Cada pila representó una repetición. El proceso de composteo duró 45 días. Las heces de cada pila se removieron semanalmente y durante el proceso cada tercer día se midió la temperatura, humedad y pH. Al final del proceso, de cada tratamiento se tomaron al azar tres muestras de 500 g cada una. Las muestras se analizaron en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencia Agrícolas UAEM, conforme a las técnicas establecidas en la NOM-021SEMARNAT-2000. Se utilizó un diseño Completamente al azar. Se realizó un Análisis de Varianza utilizando el programa estadístico MINITAB. La comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ). La variable pH presentó diferencia significativa ( $P = 0.001$ ), el T3 (7.94) presentó menor valor ( $P < 0.001$ ) respecto a T1=9.13, T2=9.75 y T4=9.68 ( $P > 0.05$ ). Hernández *et al.*, (2013) indican que el pH es el resultado de la influencia por los altos niveles de Na. La relación C/N entre los tratamientos fue diferente ( $P < 0.0001$ ). Las compostas del T4 presentó menor relación C/N ( $P < 0.05$ ), seguida por el T1: 15.11 y T2 10.98. ( $P > 0.05$ ). El T3 tuvo mayor relación (41.7) y mayor contenido de CO (31.97), según Lazcano *et al.*, (2008), la C/N indica el grado de descomposición de un desecho, menor relación se transforma en una mayor descomposición. El NT, P y K fue similar en los tratamientos ( $P > 0.05$ ). El Ca fue mayor en T1 ( $P < 0.002$ ) y el Na fue similar en T1 y T3 ( $P = 0.05$ ). Las compostas de bovinos, caprinos y ovinos presentaron mejor composición química o calidad nutrimental que la composta de equinos.

**Palabras clave:** Compostas, heces pecuarias, composición química.

### 5.1.3 Abstract

Sustainable management of production systems, promotes practices to preserve natural resources and make efficient and appropriate use of residues from the agricultural sector (Hernández et al., 2013). Composting provides a hygienically safe organic product without risk transmission of pathogens to the environment when used in agriculture (Szabová et al., 2010). The objective the work was to evaluate the chemical composition of composts made from cattle feces (HB) goats (HC), sheep (HO) and equines (HE), regarding the variables pH, organic matter (OM), Carbon organic (CO), total nitrogen (NT), C/N, phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca) and sodium (Na). The composting experiment was performed at the Rancho "El Salitre" of the Centro Universitario UAEM-Temascaltepec, located in the sub-tropical region of the southern State of Mexico. They were evaluated 4 treatments: T1: HB compost, T2: HC composted, T3: T4 HE and compost: compost HO. In each treatment 3 piles were formed in the soil of 80 kg of fresh feces. Each pile represented a repetition. The composting process lasted 45 days. The feces of each pile are removed weekly and during the every third day process temperature, humidity and pH was measured. At the end of the process, each treatment were randomly three samples of 500 g each. The samples were analyzed in the laboratory Soil of the Facultad de Ciencias Agrícolas UAEM, according to the techniques set forth in NOM- 021SEMARNAT-2000. Completely randomized design was used. An analysis of variance was performed using the MINITAB statistical software. The comparison of means was performed with the test Tukey ( $P < 0.05$ ). The pH variable showed significant difference ( $P = 0.001$ ), T3 (7.94) had lower value ( $P < 0.001$ ) compared to T1=9.13, T2=9.75 and T4=9.68 ( $P > 0.05$ ). Hernandez et al, (2013) indicate that pH is the result of the influence by the high levels of Na. C/N ratio between treatments was different ( $P < 0.0001$ ). T4 compost showed lower C/N ( $P < 0.05$ ), followed by T1:15.11 and T2:10.98 ( $P > 0.05$ ). T3 had higher ratio (41.7) and higher content of CO (31.97), according Lazcano et al. (2008), the C/N indicates the degree of decomposition of waste, less relationship becomes greater decomposition. The Nt, P and K were similar in treatments ( $P > 0.05$ ). The Ca was higher T1 ( $P < 0.002$ ) and Na was similar in T1 and T3 ( $P = 0.05$ ). The composted cattle, goats and sheep had better chemical composition or nutritional quality compost equine.

Keywords: Compost, livestock feces, chemical composition.



#### 5.1.4 Introducción

El manejo sostenible de los sistemas de producción pecuario, promueve prácticas para preservar los recursos naturales y permiten hacer un uso eficiente y adecuado de los residuos que se derivan del sector agropecuario (Hernández *et al.*, 2013). Las estadísticas de población pecuaria en México reportan 32,402,461 cabezas de bovinos (carne y leche), 16,201,625 de porcinos, 524,271,158 de aves (carne y huevo), 8,497,347 de ovinos y 8,664,613 de caprinos para el año 2013 (SIAP, 2013), generando 64,804,922 kg día<sup>-1</sup> de estiércol bovino (2 kg día animal<sup>-1</sup>), lo que representa solamente del ganado bovino, una producción anual de 23.65 millones de toneladas de residuos. Los efectos de la acumulación del estiércol de ganado en el impacto ambiental, como la generación de gases efecto invernadero, eutrofización de cuerpos de agua y sobrecarga de nutrientes en suelos de cultivos, dependerá en gran medida de la especie pecuaria, del sistema de alimentación y del manejo del estiércol (Pinos *et al.*, 2012). El compostaje es el método más adecuado en el tratamiento eficaz de los desechos orgánicos para obtener un producto higiénicamente seguro y económicamente rentable (Szabová *et al.*, 2010; Kulcu y Yaldiz, 2004). Existen factores físicos y químicos que determinan la velocidad de las reacciones bioquímicas en el compostaje y una maduración adecuada de las compostas. La aireación es uno de los factores más importantes del proceso de compostaje, que es básicamente una transformación aeróbica de la materia orgánica donde el oxígeno es consumido y se producen gases como vapor de agua y dióxido de carbono (El Kader *et al.*, 2007). La aireación sirve también para el adecuado control de la humedad del sustrato, por lo que es importante la selección del método de aireación, el cual depende de la naturaleza del sustrato, siendo los más comunes el volteo de pilas o la aireación forzada (Oviedo *et al.*, 2014). Sin embargo, Parkinson *et al.* (2004) encontraron que las pérdidas de nitrógeno en forma de nitratos y amonio por lixiviación son mayores (193 y 192.8 mg l<sup>-1</sup> respectivamente) cuando se realizan volteos frecuentes de las pilas en el proceso de compostaje y en la estación de lluvias es más marcado que en la época de calor o frío.

El criterio de calidad para el compost está establecido en términos de contenido de nutrientes, estabilización y humificación de la MO, el grado de maduración, la higienización y la presencia de ciertas sustancias tóxicas como metales pesados, sales solubles y xenobióticos (Bernal *et al.*, 2009). Hernández *et al.* (2013) concluyeron que las variables de N-total, C orgánico y relación C/N son las mejores características químicas y nutricionales en el compostaje de residuos silvopastoriles. Dada la necesidad de realizar estudios sobre las aportaciones de nutrimentos de las compostas realizadas con heces pecuarias a suelos de cultivo, se llevó a cabo el presente estudio con el objetivo de evaluar las características químicas de compostas de heces de bovinos, caprinos, equinos y ovinos elaboradas en la época de lluvias.

### **5.1.5 Materiales y Métodos**

***Ubicación del área de estudio.*** El experimento se llevó a cabo durante el período de lluvias de agosto a septiembre del 2014 en el área de compostaje establecido en el Rancho “El Salitre” del Centro Universitario UAEM-Temascaltepec, localizado en el municipio de San Simón de Guerrero, en la región subtropical en el Sureste del Estado de México a 100°6´27’’ O y 19°2´8’’ N, a 1800 msnm. La temperatura promedio durante el período de estudio fue máxima de 21.7°C y la mínima de 12.2°C. La precipitación pluvial de 260 mm y humedad relativa de 82.7 % (INIFAP, 2014). El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano (Cw) (INEGI, 2009).

***Residuos orgánicos.*** Las heces de bovinos (HB), ovinos (HO) y caprinos (HC) se colectaron de los corrales de cada especie del Rancho “El Salitre” y las heces de equinos (HE) se colectaron del Centro de Equinoterapia ubicado también dentro del mismo rancho. El cuadro 1 muestra las características químicas de las heces. La alimentación del ganado bovino fue pastoreo diario en praderas mixtas de Tanzania, Mombaza, Mulato II e Insurgente y recibieron un suplemento 2 kg día<sup>-1</sup> a base de sorgo, maíz, soya y minerales. Los caprinos y ovinos pastorearon en praderas de estrella africana, pastos nativos y/o arbustos, suplementados con sales minerales a libre acceso. Los equinos permanecieron en confinamiento y se alimentaron con avena henuificada a libre acceso.

Las heces de equino utilizadas para el compostaje estaban mezcladas con residuos de paja de avena.

**Tratamientos.** Los tratamientos fueron los cuatros tipos de heces pecuarias: T 1: composta de HB, T 2: composta de HC, T 3: composta de HE y T 4: composta de HO. En cada tratamiento se construyeron pilas de 80 kg de heces frescas, con tres repeticiones cada uno. Las pilas se voltearon manualmente cada semana hasta finalizar el proceso de compostaje que duró 45 días. La elaboración de la composta se realizó de acuerdo a las medidas de control del proceso para la producción de los mejoradores de suelo a partir de residuos orgánicos según la Norma Técnica Estatal Ambiental NTEA-006-SMA-RS-006 (SMA, 2006) y se utilizó junto con la NADF-020-AMBT-2011 (SEDEMA, 2012) para comparar las características químicas de las composta obtenidas en este trabajo.

**Mediciones en campo.** Durante el proceso de compostaje, en cada tratamiento se midió dos veces por semana la temperatura (°C) en tres sitios seleccionados al azar con un termómetro de carátula para suelo (TFA) para identificar el tiempo de aparición y término de las siguientes fases: mesófila, termófila, enfriamiento y maduración. La conductividad eléctrica CE y el pH se midieron en cada pila una vez por semana en tres sitios seleccionados al azar. Para CE se utilizó un analizador de campo Hanna Instruments y el pH se midió con un analizador de suelo Keyway.

**Análisis químicos.** De cada repetición de los tratamiento al inicio (día 0) y al final del proceso de compostaje (día 45) se tomó al azar una muestras de 500 g, de diferentes sitios a una profundidad de 10 cm. Las muestras se secaron a temperatura ambiente y se colocaron en bolsas de nylon para su posterior análisis. Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEM, cada variable fue analizada conforme las normas mexicanas NOM-021-RECNAT-2000,2002 (SEMARNAT, 2002) y NMX-FF-109-SCFI-2007 (SEECO, 2008). En el laboratorio particular Phytomonitor S.A. de C.V. se analizaron los microelementos tanto de las heces como en las compostas. El pH usando un potenciómetro (HANNA Instruments 8521) en una disolución 1:4 (p/v). El contenido de MO (%) y Corg (%) por combustión húmeda de acuerdo al método de Walkley-Black modificado, donde  $\%MO = \%Corg * 1.724$ . El contenido de nitrógeno total Nt (%) por método MicroKjendahl

(titulométrico). La capacidad de intercambio catiónico CIC ( $\text{Cmol kg}^{-1}$ ) por el método del cloruro de bario y trietanolamina (Serrato y Landeros, 2001). La C/N fue calculada a partir de la siguiente ecuación:  $\text{C/N} = \% \text{MO} (0.58) / \% \text{Nt}$  (Paneque *et al.*, 2010). 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 de flamómetro. El hierro, zinc, cobre y manganeso por (digestión) absorción atómica (lámpara cat. hueco) y el boro por el método azomethine-H (colorimétrico). Los análisis de cada variable se realizaron por triplicado.

**Diseño experimental.** Las variables de la caracterización química de la composta se analizaron utilizando un diseño experimental completamente al azar mediante un análisis de varianza a través del comando de modelo general lineal de MINITAB. La comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ). Las variables temperatura, pH y CE medidas durante el proceso de compostaje registraron el promedio de los datos.

Cuadro. 1. Características químicas de las heces pecuarias.

HECES	pH	CIC $\text{Cmol kg}^{-1}$	Corg %	MO %	Nt %	P $\text{mg kg}^{-1}$	K $\text{mg kg}^{-1}$	C/N	Ca $\text{mg kg}^{-1}$	Na $\text{mg kg}^{-1}$
<b>Bovinos</b>	8.4	33.1	44.28	76.34	1.9	507.5	465.5	23.3	28.3	231.8
<b>Caprinos</b>	9.6	43.1	40.69	70.15	2.5	1050.5	843.2	16.27	14.9	331.2
<b>Equinos</b>	7.6	30.6	48.80	84.12	1.2	431	221.1	40.6	3	101.4
<b>Ovinos</b>	9.3	39.4	40.65	70.07	2.1	790	760.4	19.35	8	295.5

Fuente: Elaboración propia. pH: potencial hidrogeno, CIC: capacidad de intercambio catiónico, Corg: carbono orgánico, MO: materia orgánica, Nt: nitrógeno total, P: fósforo, K: potasio, C/N: relación carbono nitrógeno, Ca: calcio, Na: sodio.

### 5.1.6 Resultados

La temperatura de las pilas de los tratamientos T 1 y T 2 registró la fase termófila en la segunda semana después de iniciado el experimento, alcanzando las máximas temperaturas de  $43.5^{\circ}\text{C}$  y  $43.6^{\circ}\text{C}$  respectivamente. Las pilas de los tratamientos T 4 y T 3 registraron menor temperatura en esta fase;  $35^{\circ}\text{C}$  y  $35.3^{\circ}\text{C}$  respectivamente, debido a

que las heces utilizadas fueron amontonadas una semana antes del compostaje al limpiar los corrales. El tratamiento T 4 no alcanzó la fase termófila (<35) (Diaz *et al.*, 2007), inició con 35° C y disminuyó a 32°C en la segunda semana para luego otra vez alcanzar los 35°C para la tercer semana, esto se creó debido a que las heces mostraban un grado de avance en el proceso de compostaje. Resultados similares fueron reportados por Hernández *et al.* (2013) donde sus tratamientos con heces de ganado vacuno y aves alcanzaron las máximas temperaturas entre 35 y 40°C, por lo cual reportaron que los materiales fueron semicompostados. La figura 1 muestra el comportamiento durante el proceso de compostaje de los tratamientos.

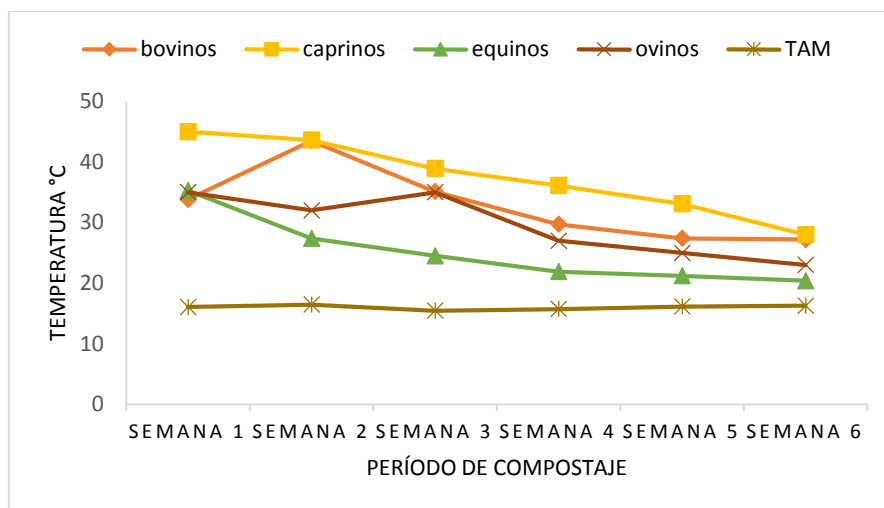


Figura 1. Temperatura de los tratamientos durante el proceso de compostaje. TAM (Temperatura ambiental media durante en proceso de compostaje).

La CE fue menor en el tratamiento T 3 (<1 dS cm<sup>-1</sup>) mientras que en el tratamiento T 2 fue mayor (12.1 dS cm<sup>-1</sup>) incrementando hacia el final del proceso (figura 2), comportamiento similar también se observó en el tratamiento T 1. Resultados similares fueron reportados por Lazcano *et al.* (2008) indicando que el compostaje de estiércol bovino incremento su valor después de la fase activa del compostaje (fase termófila) y sus resultados tuvieron valores menores a 3 dS cm<sup>-1</sup>. El pH en el tratamiento T 2 fue menor al inicio del proceso con rango moderadamente ácido (5.5 a 6). Este factor es muy relevante para controlar las pérdidas de N por volatilización del amonio, las cuales pueden ser particularmente altas a pH>7.5 (Bernal *et al.*, 2009).

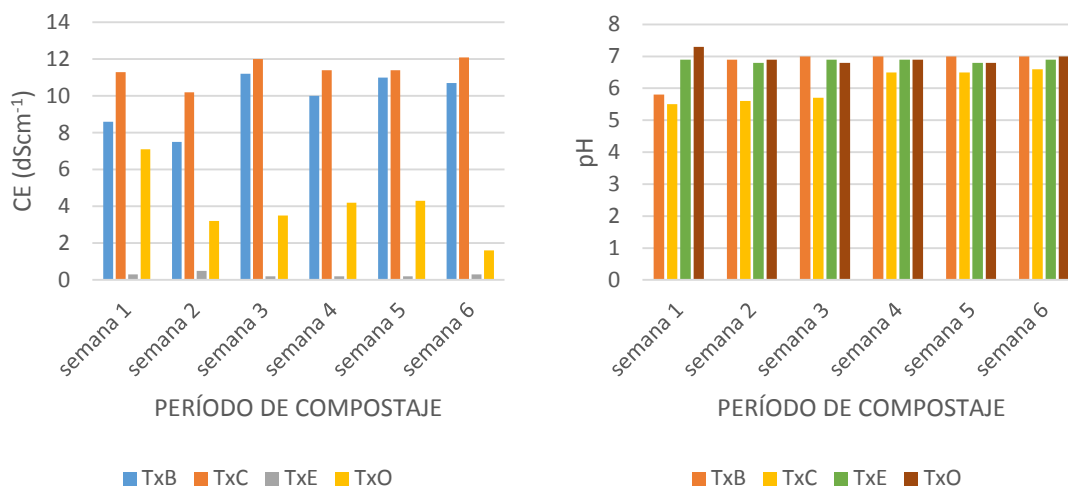


Figura 2. Valores de Conductividad Eléctrica y pH en los tratamientos.

El Cuadro 2 presenta las características químicas de las compostas elaboradas con heces de origen pecuario. Las compostas mostraron diferencia significativa ( $P < 0.001$ ) en el pH del T 3 (7.9) con el resto de las compostas las cuales fueron iguales entre sí (T 1=9.1, T 2=9.7 y T 4=9.6). Roca *et al.* (2009) 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 CIC presentó diferencias altamente significativas ( $P < 0.000$ ) entre los tratamientos, el T 4 presentó mayor valor ( $43.8 \text{ Cmol kg}^{-1}$ ). Las compostas tienen un alto contenido de CIC por las sustancias húmicas que se generan conforme los residuos van degradándose (Venegas *et al.*, 2005). El T 1 aumentó su valor final en comparación al valor inicial ( $33.4$  a  $39.6 \text{ Cmol kg}^{-1}$  respectivamente), no así en el T 2 ( $43.1 \text{ Cmol kg}^{-1}$  inicial a  $36.3 \text{ Cmol kg}^{-1}$  final). Venegas *et al.* (2005) reportaron un aumento en los valores de CIC en compostas de cachaza de caña de azúcar composteada durante el primer año de  $38.44$  a  $128.9 \text{ Cmol kg}^{-1}$  y al final del proceso (36 meses) un decremento hasta  $56.18 \text{ Cmol kg}^{-1}$ . Durante el proceso de compostaje, el contenido de nitrógeno total disminuye principalmente por volatilización del amonio (Diaz *et al.*, 2007), en este estudio existió disminución del contenido de Nt en los tratamientos T 1, T 2 y T 4 excepto en T 3 (0.5% inicial a 0.7% final), esto se cree también fue afectado por la estacionalidad, provocando lavados de nutrientes como reportó Parkinson *et al.* (2004) con pérdidas de nitrógeno en forma de nitratos y amonio

por lixiviación (193 y 192.8 mg l<sup>-1</sup> respectivamente) cuando se realizaron volteos frecuentes en el proceso de compostaje de ganado vacuno.

Cuadro. 2. Composición química de compostas elaborada con heces pecuarias durante 45 días.

Var Trat	pH	CIC Cmol kg <sup>-1</sup>	Corg %	MO %	Nt %	C/N	P mg kg <sup>-1</sup>	K mg kg <sup>-1</sup>	Ca mg kg <sup>-1</sup>	Na mg kg <sup>-1</sup>
T 1	9.1 <sup>a</sup>	39.7 <sup>b</sup>	26.1	45.0 <sup>a</sup>	1.6	16.3 <sup>b</sup>	1126 <sup>b</sup>	738.2	32.6 <sup>a</sup>	400.2 <sup>a</sup>
T 2	9.7 <sup>a</sup>	36.3 <sup>b</sup>	19.4	33.4 <sup>a</sup>	1.1	17.6 <sup>b</sup>	1015 <sup>b</sup>	668.5	12.7 <sup>b</sup>	295.5 <sup>b</sup>
T 3	7.9 <sup>b</sup>	31.9 <sup>c</sup>	31.9	55.1 <sup>a</sup>	0.7	45.6 <sup>a</sup>	1407 <sup>a</sup>	768.4	2.5 <sup>c</sup>	161.2 <sup>c</sup>
T 4	9.6 <sup>a</sup>	43.8 <sup>a</sup>	16.4	27.6 <sup>b</sup>	1.7	9.4 <sup>b</sup>	1078 <sup>b</sup>	676.6	4.8 <sup>c</sup>	275.2 <sup>b</sup>
<b>Valor P</b>	0.001 *	0.000 *	0.053	0.001 *	0.233	0.000 *	0.012 *	0.126	0.001 *	0.001 *

Fuente: elaboración propia. Var= variable respuesta, Trat=tratamientos T 1=composta de heces de bovinos; T 2=composta de heces de caprinos; T 3= composta de heces de equinos; T 4=composta de heces de ovinos. nae=no analizado estadísticamente. Letras distintas en la misma línea indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

El contenido de Nt y Corg no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo, la relación C/N fue altamente significativa ( $P < 0.000$ ). El T 4 tuvo la relación C/N más baja (9.4) y el T 3 la más alta (45.6). La relación C/N indica el grado de descomposición de un desecho, una menor relación C/N se refiere a un mayor grado de descomposición (Lazcano *et al.*, 2008). El tratamiento T 3 no mostró un grado de descomposición en relación al dato inicial (40.6), esto pudo deberse a que el tiempo del proceso de compostaje duro 45 días y no fue suficiente para degradar los compuestos complejos como celulosa y hemicelulosa contenidos en la paja mezclada con las heces. Costa *et al.* (2014) reportaron un contenido mayor en la relación C/N (34 y 28) en compostas de estiércol ovino que contenía paja como cama y estaba mezclado con estiércol bovino en proporción 0:100 y 25:75 respectivamente. El contenido de MO es un indicador importante del grado de descomposición de un residuo orgánico. En este estudio la MO presentó diferencias significativas ( $P < 0.001$ ) entre los tratamientos. T 4 presentó menor contenido de MO (27.6%). El contenido de MO al final del proceso de compostaje en todos los tratamientos disminuyó respecto al contenido inicial en las heces (Cuadro 1 y 2). Comportamiento similar reportan Kulcu y Yaldiz (2007) en el compostaje

de estiércol caprino mezclado con paja y diferentes proporciones de conos de pino (5, 10 y 15%) teniendo un contenido promedio inicial de MO de 71.87% y promedio final de 48.04% en todos los tratamientos.

El contenido de fósforo fue mayor en la composta de heces de equinos (1407 mg kg<sup>-1</sup>) ( $P<0.012$ ). Este valor se atribuye al tipo de alimentación de esta especie, basada en heno de avena (Sauvant *et al.*, 2004). Resultados inferiores a este trabajo reportan Hernández *et al.* (2013) en composta de gallinaza, con contenidos de 1110 y 1140 mg kg<sup>-1</sup>, y en el estiércol vacuno 230 y 290 mg kg<sup>-1</sup>. El calcio y el sodio mostraron diferencias estadísticas ( $P<0.001$ ) entre los tratamientos. Las compostas de heces bovinas tuvieron las concentraciones más altas (Cuadro 2), esto se puede deber a la suplementación que recibieron a base de sales minerales. Para complementar este estudio se realizó un análisis de micronutrientes (Cuadro 3) en las heces y en las compostas. La investigación de Hernández *et al.* (2013), reporta el contenido de los micronutrientes como Cu (48 a 96 mg kg<sup>-1</sup>), Zn (62 a 277 mg kg<sup>-1</sup>), Fe y Mn en compostas de estiércol vacuno y gallinaza, en este estudio se encontraron valores de Cu menores a estos en todos los tratamientos (<39 mg kg<sup>-1</sup>). Sin embargo, este valor se encuentra dentro del parámetro de las normas NTEA-006-SMA-RS-2006 y NADF-020-AMBT-2011. El contenido de Zn aumentó en las compostas de todos los tratamientos en comparación a su contenido inicial en las heces. El contenido de Zn y Cu deben ser observados en las compostas pues pueden causar problemas de toxicidad (Zn >230 mg kg<sup>-1</sup> y Cu entre 30-43 mg kg<sup>-1</sup>) (Fricke and Vogtmann, 1993).

Cuadro. 3. Microelementos contenidos en las heces y compostas de bovinos, caprinos, equinos y ovinos.

ESPECIE	Heces mg kg <sup>-1</sup>					Composta mg kg <sup>-1</sup>				
	Fe	Zn	Cu	Mn	B	Fe	Zn	Cu	Mn	B
<b>Bovinos</b>	3010	280	39	440	1360	3050	340	51	480	1320
<b>Caprinos</b>	3250	190	30	450	1030	4750	280	47	570	1160
<b>Equinos</b>	4700	41	9	175	1250	3000	51	10	245	1020
<b>Ovinos</b>	4400	200	35	540	1100	4030	270	43	660	880

Fuente: Elaboración propia. Fe:hierro, Zn:zinc, Cu:cobre, Mn:manganeso, B:boro.



### 5.1.7 Conclusiones

Las compostas elaboradas con heces de bovinos, caprinos, equinos y ovinos presentaron diferencias en las características químicas. Los valores químicos; CE, MO y C/N en las compostas estuvieron dentro de los parámetros especificados por las normas NADF-020-AMBT-2011 y NTEA-006-SMA-RS-2006. El contenido de macronutrientes N, P, K en todas las compostas se encontró en el rango de  $\leq 7$  considerado por las normas antes mencionadas como un mejorador de suelo. Así mismo la temperatura final en comparación a la temperatura ambiental se encontró dentro del rango  $\leq 10^\circ \text{C}$ .

El pH fue menor en la composta de equinos, sin embargo, la C/N fue muy alta saliendo de los parámetros sugeridos por la literatura.

### 5.1.8 Bibliografía

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

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. *Journal of cleaner Production* XXX, 1-6.

Diaz, L.F., M. De Bertoldi, W. Bidlingmaier, and E. Stentoford. 2007. *Compost Science and Technology Waste Management Series 8* Elsevier, The Netherlands. 357 p.

El Kader, N.A., P. Robin, J.M. Paillat, and P. Leterme. 2007. Turning, compacting and the addition of water as factors affecting gaseous emissions in farm manure composting. *Bioresour Technol.* 98, 2619-2628.

Fricke, K., and H. Vogtmann. 1993. Quality of source separated compost. *BioCycle* 34:64.

- Hernández, R.O.A., A.T. Hernández, C.F. Rivera, A.M.V. Arras, y D.B. Ojeda. 2013. Calidad nutrimental de cuatro abonos orgánicos producidos a partir de residuos vegetales y pecuarios. *Terra Lationoamericana* 31 (1), 35-46.
- 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.
- INIFAP. 2014. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y pecuarias. Reporte de variables agroclimáticas, estación Temascaltepec. [<http://clima.inifap.gob.mx/redinifap/est.aspx?est=48459>]. Documento en línea. Fecha de consulta 9 de marzo de 2015.
- Kulcu, R., and O. Yaldiz. 2004. Determination of aeration rate and kinetics of composting some agricultural wastes. *Bioresour Technol.* 93, 49-57.
- Kulcu, R., and O. Yaldiz. 2007. Composting of goat manure and wheat straw using pine cones as a bulking agent. *Bioresour Technol.* 98, 2700-2704.
- Lazcano, C., M. Gómez-Brandón, and J. Domínguez. 2008. Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. *Chemosphere* 72, 1013-1019.
- Oviedo-Ocaña, E.R., L.F. Marmolejo-Rebellón, y P. Torres-Lozada. 2014. Influencia de la frecuencia de volteo para el control de la humedad de los sustratos en el compostaje de biorresiduos de origen municipal. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 30 (1), 91-100.
- Paneque-Pérez, V.M., J.M. Calaña-Naranjo, M. Calderón-Valdés, Y. Borges-Benítez, T.C. Hernández -García, y M. Caruncho Contreras. 2010. Manual de técnicas analíticas para el análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos. Instituto Nacional de Ciencias agrícolas, Cuba. 160 p.
- Parkinson, R., P. Gibbs, S. Burchett, and T. Misselbrook. 2004. Effect of turning regime seasonal weather conditions on nitrogen and phosphorus losses during aerobic composting of cattle manure. *Bioresour Technol.* 91, 171-178.

- Pinos-Rodríguez, J.M., J.C. García-López, L.Y. Peña-Avelino, J.A. Rendón-Huerta, C. González-González, y F. Tristán-Patiño. 2012. Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *Agrociencia* 46, 359-370.
- Roca, P., C. Martínez, P. Mancilla, and R. Boluda. 2009. Composting rice straw with sewage sludge and compost effects on the soil-plant system. *Chemosphere* 75, 781-787.
- Sauvant, D., J.M. Perez, y G. Tran. 2004. Tablas de composición y de valor nutritivo de las materias primas destinadas a los animales de interés ganadero. Ediciones Mundi-Prensa, España. 55-77 p.
- SEECO. 2008. Secretaría de Economía. Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008. Humus de lombriz (lombricomposta)-Especificaciones y métodos de prueba. Secretaría de Economía. Diario Oficial de la Federación. 10 de junio de 2008.
- SEDEMA (2012). Secretaria de Medio ambiente. Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-020-AMBT-2011. Requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida y/o distribuida en el distrito federal. Secretaria del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. Gaceta Oficial del Distrito Federal. 30 de noviembre de 2012.
- SEMARNAT 2002. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2002. Qué establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.
- Serrato, C.R., y V.L. Flores. 2001. Instructivo para análisis de suelos. Propiedades químicas. Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ciencias Agrícolas, México. 76 p.
- SIAP. 2013. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. [<http://www.siap.gob.mx/poblacion-ganadera/>]. Documento en línea. Fecha de consulta 15 de noviembre de 2014.

SMA. 2006. Secretaria de Medio Ambiente. Norma Técnica Estatal Ambiental NTEA-006-SMA-RS-2006. Requisitos para la producción de los mejoradores de suelos elaborados a partir de residuos orgánicos. Secretaria de Medio Ambiente. Gaceta del Gobierno. 9 de octubre de 2006.

Szabová, E., P. Juriš, and I. Papajová. 2010. Sanitation composting process in different seasons. *Ascaris suum* as model. *Waste manage.* 30, 426-432.

Venegas-González, J., J. Lenom-Cajuste, A. Tinidad-Santos, F. Gavi-Reyes, y P. Sánchez-García. 2005. Análisis químico de compost y efecto de su adición sobre la producción de biomasa en zarzamora. *Terra Latinoamericana* 23 (3), 285-292.

## 5.2 Comparación de dos métodos de ventilación en la composición química de composts de estiércoles pecuarios

### 5.2.1 carta de aceptación

[RICA] Envío recibido

El Viernes, 4 de marzo, 2016 19:06:42, Claudio M. Amescua Garcia  
<claudio.amescua@atmosfera.unam.mx> escribió:

Francisca Avilés Nova:

Gracias por enviarnos su manuscrito "COMPARACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE COMPOST DE ESTIÉRCOLES PECUARIOS UTILIZANDO DOS MÉTODOS DE VENTILACIÓN" a Revista Internacional de Contaminación Ambiental.

Gracias al sistema de gestión de revistas online que usamos podrá seguir su progreso a través del proceso editorial identificándose en el sitio web de la revista:

URL del manuscrito:

<http://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/author/submission/52328>

Nombre de usuaria/o: temascaltepec

Si tiene cualquier pregunta no dude en contactar con nosotros/as. Gracias por tener en cuenta esta revista para difundir su trabajo.

Claudio M. Amescua Garcia

Revista Internacional de Contaminación Ambiental

---

Revista Internacional de Contaminación Ambiental

<http://www.revistascca.unam.mx/rica>

### 5.2.2 Resumen

El compostaje del estiércol animal permite obtener un producto final con valor agronómico como abono de cultivos o mejorador del suelo. Este trabajo comparó dos métodos de ventilación en la composición química de cuatro composts de estiércoles pecuarios. Se realizaron cuatro experimentos de compostaje de estiércoles con dos métodos de ventilación: manual con pala (Vm) y con tubos de policloruro de vinilo perforados (Vt). Exp 1 bovino (CBo+Vm, CBo+Vt), Exp 2 caprino (CCa+Vm, CCa+Vt), Exp 3 equino (CEq+Vm, CEq+Vt) y Exp 4 ovino (COv+Vm, COv+Vt). En cada experimento se utilizó un diseño completamente aleatorizado con tres repeticiones. Se analizó temperatura, potencial de hidrogeno (pH), conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO), carbono orgánico (C), nitrógeno total (N), relación carbono/nitrógeno (C/N), fosfato (PO<sub>4</sub>), potasio (K), magnesio (Mg), sulfato (SO<sub>4</sub>), calcio (Ca), sodio (Na), hierro (Fe), manganeso (Mn), boro (B), zinc (Zn) y cobre (Cu). Se realizó un ANOVA de una vía utilizando el programa MINITAB y la comparación de medias mediante la prueba Tukey (P<0.05). La temperatura en cada experimento mostró diferencias altamente significativas en los tratamientos (P=0.000). CBo, CCa y COv no presentaron diferencias estadísticas en la composición química por el método de ventilación. CEq presentó diferencias estadísticas en C/N (P=0.049), siendo menor en CEq+Vt (21.6). Los métodos de ventilación no influyeron en las características químicas de los composts de estiércoles bovino, caprino y ovino, sin embargo, en CEq colocar tubos plásticos a las pilas de compostaje favoreció mayor degradación de la MO y redujo la C/N.

Palabras clave: contenido nutrimental, residuos orgánicos, aireación, compostaje.

### 5.2.3 Abstract

Composting animal manure makes it possible to obtain a final product with agronomic value as a crop fertilizer or soil enricher. In this work we compared the effects of two ventilation methods on the chemical composition of four livestock manure composts. We

conducted four manure composting experiments with two ventilation methods: manually with a shovel (Vm), and with perforated polyvinyl chloride (Vt). Exp 1 cattle (CBo+Vm, CBo+Vt), Exp 2 goat (CCa+Vm, CCa+Vt), Exp 3 horse (CEq+Vm, CEq+Vt) and Exp 4 sheep (COv+Vm, COv+Vt). A completely randomized design was used in each experiment, with three repetitions. We analyzed temperature, hydrogen potential (pH), electric conductivity (EC), organic matter (OM), organic carbon (C), total nitrogen (N), carbon/nitrogen ratio (C/N), phosphate (PO<sub>4</sub>), potassium (K), magnesium (Mg), sulfate (SO<sub>4</sub>), calcium (Ca), sodium (Na), iron (Fe), manganese (Mn), boron (B), zinc (Zn) and copper (Cu). A one-way analysis of variance (ANOVA) was conducted using the MINITAB program, and the Tukey's test ( $P < 0.05$ ) was used to compare the methods. There were highly significant differences in the temperatures observed with the different treatments in the experiments ( $P = 0.000$ ). No statistical differences were observed in the chemical composition in CBo, CCa and COv based on the ventilation method used. In CEq there were statistical differences in C/N ( $P = 0.049$ ), with a lower result in CEq+Vt (21.6). The ventilation methods did not impact the chemical characteristics of the cattle, goat and sheep manure composts, but in CEq it was found that placing plastic tubes in the compost piles facilitated greater degradation of the OM and reduced the C/N.

Key words: nutrient content, organic waste, aeration, composting.

#### **5.2.4 Introducción**

La intensificación de la producción ganadera aumenta la generación de estiércol, lo cual origina una gran cantidad de nutrientes desechados en áreas específicas dentro de la unidad productiva (Pinos et al. 2012). Esto puede causar serios problemas ambientales como translocación de microorganismos patógenos y semillas de maleza, sales inorgánicas e incluso trazas de metales pesados (Lazcano et al. 2008), igualmente pueden causar un impacto negativo en el ambiente como malos olores, emisiones de gases y contaminación de suelo y agua (Bernal et al. 2009). En México la regulación y vigilancia gubernamental sobre el uso y manejo del estiércol animal es escasa, confusa y sin especificaciones claras (Pinos et al. 2012); esto ha resultado en un abuso en las

descargas de desechos en cuerpos de agua y suelos de cultivo. El compostaje es el método más adecuado en el tratamiento eficaz de desechos orgánicos para obtener un producto higiénicamente seguro y económicamente rentable (Szabová et al. 2010, Kulcu y Yaldiz 2004). La conservación de nutrientes en el producto final (compost), es importante para que no se afecte su valor agronómico y su potencial como abono orgánico. El nitrógeno (N) disponible para las plantas a partir de estiércoles es altamente dependiente de la composición de los mismos (Li y Li 2014) y la calidad del estiércol varía en relación al tipo de animal, edad, dieta y sistema de manejo (Chadwick et al. 2000). Azzez y Van Averbeke (2010) mencionaron que la relación C/N, C/P y N/P en los estiércoles de diferentes especies animales son reflejo de diferentes prácticas de manejo, patrones de alimentación de los animales y composición de los forrajes en el caso de rumiantes.

Los factores involucrados en el proceso de compostaje como la aireación, la relación inicial C/N y el contenido de humedad, influyen en el contenido de nutrientes, madurez y estabilidad del compost (Guo et al. 2012). Excesiva aireación puede incrementar pérdidas de amoníaco y conducir más lento el proceso; una relación inicial C/N baja, puede incrementar pérdidas de nitrógeno como gas amoníaco y el contenido de humedad puede afectar la calidad del compost pero no significativamente (Guo et al. 2012). Parkinson et al. (2004) sugirieron reducir los volteos de tres a uno a las pilas de compost durante todo el proceso, para reducir las pérdidas de nutrientes de compost con estiércol bovino. El objetivo de este trabajo fue comparar dos métodos de ventilación: manual con pala y con tubos de policloruro de vinilo perforados, en la composición química de cuatro composts de estiércoles bovino, caprino, equino y ovino.

### **5.2.5 Materiales y Métodos**

El proceso de compostaje se realizó durante noviembre de 2014 a enero de 2015 en el Rancho “El Salitre” del Centro Universitario UAEM-Temascaltepec, en el municipio de San Simón de Guerrero localizado en la región sub-tropical del sureste del Estado de México, a  $100^{\circ}6'27''$  O y  $19^{\circ}2'8''$  N a 1800 msnm. El clima es templado subhúmedo con



lluvias en verano (Cw) (INEGI 2009). Los residuos orgánicos utilizados para la elaboración de los composts fueron estiércoles bovino, caprino, equino y ovino mezclados con restos de la alimentación que recibieron las especies. Los estiércoles se colectaron de acuerdo a la disponibilidad existente en los corrales techados donde estaban acumulados por dos meses. El estiércol equino se colectó de una pila donde se acumulaba semanalmente. La alimentación diaria de bovinos fue planta verde entera de maíz a libre acceso y 2kg de suplemento alimenticio a base de soya, maíz molido, sorgo, sales minerales (MULTISAL, contenido en 1000g: Cu 600mg; Fe 1920mg; Mn 2066.46mg; Co 6mg; I 19.84mg; Zn 3000.24mg; Se 12mg; P 59220mg; Mg 2000.32mg; Ca 281mg; Na 2703.20mg; K 2439mg) y agua a libre acceso. La alimentación de caprinos y ovinos se basó en pastoreo diario en pastos y arbustos nativos, además de un suplemento de 250g/día/animal a base de rastrojo de maíz, sorgo molido, maíz molido, pasta de soya y sales minerales (MULTISAL) y agua a libre acceso. Los equinos permanecieron en confinamiento alimentados con avena henificada y agua a libre acceso.

Se realizó un experimento de compostaje para cada tipo de estiércol mezclado utilizando dos métodos de ventilación: manual con pala (Vm) y con tubos de policloruro de vinilo perforados (Vt). Para cada experimento se utilizó un diseño completamente aleatorizado, los tratamientos fueron: Exp 1 compost estiércol bovino (CBo+Vm, CBo+Vt), Exp 2 compost estiércol caprino (CCa+Vm, CCa+Vt), Exp 3 compost estiércol equino (CEq+Vm, CEq+Vt) y Exp 4 compost estiércol ovino (COv+Vm, COv+Vt) cada uno con tres replicas (pilas). La Vm consistió en voltear las pilas el día 15 y 30 (El Kader et al. 2007) después de haber iniciado el compostaje, utilizando una pala de excavación para jardín Trupper (33.5 x 26.2 x 103cm). La Vt consistió en colocar horizontalmente dos tubos plásticos de policloruro de vinilo de 1 m de largo y 10 cm de diámetro en el interior de cada pila. 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. En cada experimento los estiércoles se pesaron, se humedecieron a un 60% con agua potable (analizador de humedad para suelo Keyway) excepto el estiércol bovino que contenía humedad mayor a 80% y posteriormente se formaron seis pilas cónicas. Las pilas de los experimentos 1 y 4 fueron de 100 kg midiendo 0.8 m de alto y 1 m de

diámetro en la base. Exp 2 fueron de 50 kg midiendo 0.6 m de alto y 0.8 m de diámetro en la base. Exp 3 fueron de 50 kg y presentaron la misma medida al experimento 1 y 4 debido a la menor densidad del estiércol (báscula línea industrial, Nuevo León S.A de C.V.). Las pilas se acomodaron al aire libre bajo la sombra de árboles de pinos (*Pinus* sp) sobre una película plástica de nylon. Antes de montar las pilas se tomaron al azar dos muestras de 1kg de los estiércoles mezclados, se colocaron en bolsas de nylon previamente etiquetadas y se enviaron inmediatamente en cajas térmicas con bolsas de gel congeladas entre las muestras al laboratorio para su análisis químico. El cuadro I muestra el análisis químico de los estiércoles mezclados.

Durante el proceso de compostaje se mantuvo la humedad de las pilas al 60% agregando agua potable. La temperatura del sustrato se midió en tres sitios seleccionados al azar en cada pila, dos veces por semana durante las primeras tres y una vez las restantes, utilizando un termómetro de carátula para compost TFA, y ésta fue considerada el indicador del final del proceso cuando se estabilizó a valores cercanos a la temperatura ambiental (20°C) (Mirabelli 2008). Cuando la temperatura se estabilizó a 20°C, se tomaron al azar en cada pila tres submuestras a profundidad de 10cm, obteniendo dos muestras compuestas de 1kg por tratamiento (i.e. 4 muestras/experimento) las cuales se manejaron similarmente a las muestras de los estiércoles y se enviaron al laboratorio para su análisis. Las variables analizadas en los estiércoles y composts fueron: potencial de hidrogeno (pH) por lectura potenciométrica en solución de agua destilada/muestra relación 1:5 (HANNA Instruments 8521), conductividad eléctrica (CE) (dS/m) con conductímetro DR-3900 PerkinElmer (relación 1:5), materia orgánica (MO) (%) por calcinación en mufla, carbono orgánico (C) (%) mediante ecuación  $C = \%MO / 1.724$ , nitrógeno total (N) (%) por método MicroKjeldahl titulométrico, relación carbono/nitrógeno (C/N) por ecuación  $C/N = \%C / \%N$ , fosfatos (PO<sub>4</sub>) (mg/kg) método Morgan colorimétrico y boro (B) (mg/kg) por método Azomethine-H colorimétrico (Espectrómetro Ultravioleta/visible Cary 50). Sulfatos (SO<sub>4</sub>) (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). Las características químicas de estiércoles y composts se analizaron según la norma mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008 (SEECO 2008) en laboratorio

Phytomonitor S.A. de C.V. por duplicado. Las normas Mexicanas NTEA-006-SMA-RS-2006 (SMA 2006) y NADF-020-AMBT-2011 (SEDEMA 2012) se tomaron como referencia para comparar la calidad de los composts obtenidos.

Se realizó un análisis de varianza de una vía (ANOVA-One-Way) con las variables de la composición química de cada experimento. La temperatura se analizó utilizando un ANOVA con medias repetidas a través del tiempo. Se utilizó el comando del modelo general lineal (GLM) del Programa MINITAB for Windows Release 12.21 y la comparación de medias fue mediante prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ).

### **5.2.6 Resultados**

#### Comportamiento de temperatura durante el proceso

Los patrones de temperatura muestran la actividad microbiana y la aparición de los procesos del compostaje (Bernal et al. 2009). Según Diaz et al. (2007) la fase termófila ocurre cuando la temperatura del sustrato se encuentra entre 35 y 65°C y para tener alta tasa de biodegradación y máxima diversidad microbiana la temperatura debe oscilar entre 30 y 45°C. La figura 1 muestra la temperatura promedio que presentó cada experimento durante el proceso de compostaje. En cada experimento existieron diferencias altamente significativas entre los tratamientos ( $P=0.000$ ), edad del compost (días) ( $P=0.000$ ) y la interacción ( $P \leq 0.01$ ). Exp 1, CBo+Vm no tuvo incremento de temperatura los primeros doce días, esto pudo ser efecto del exceso de humedad inicial. El exceso de humedad satura los poros e impide el intercambio gaseoso y puede conducir a un proceso anaeróbico (Diaz et al. 2007). Un incremento de temperatura se observó después de los trece días debido a la disminución de la humedad lo cual fomentó la actividad microbiana, sin embargo, no alcanzó la fase termófila. Durante el compostaje gran cantidad de agua es evaporada y el contenido de humedad disminuye (Bernal et al. 2006). CBo+Vt presentó 1.5°C menos que CBo+Vm durante el proceso, debido a que los tubos perforados removían el calor producido por la actividad microbiana. Exp 2, CCa+Vm y CCa+Vt después de 7 días de iniciado el proceso presentaron temperaturas de 53.6°C y 42.1°C respectivamente (Figura 1b), indicando la presencia de la fase termófila. La

temperatura de CCa+Vm permaneció aproximadamente 3 días más que en CCa+Vt. Este comportamiento podría explicarse debido a que el calor de CCa+Vm no fue removido durante estos primeros días por los volteos. Posteriormente la temperatura presentó una caída drástica el día 13 indicando el agotamiento de los compuestos fácilmente degradables y el inicio de la segunda fase mesófila o de maduración. Altas temperaturas indican la biodegradación activa de la materia orgánica, con el agotamiento gradual de ésta, la temperatura disminuye entrando la MO en fase de curación (Luo et al. 2014). CCa+Vt tuvo mayor temperatura el día 7 y se marcó una caída drástica el día 10, durante estos días se observó diferencia de 10°C con respecto a CCa+Vm. Exp 3, CEq+Vm y CEq+Vt no mostraron la fase termófila, en ellos podría deberse a que el estiércol utilizado fue previamente amontonado y ya había iniciado la fase activa del compostaje. CEq+Vm tuvo un incremento de temperatura de 2.7°C durante la segunda semana de compostaje, en CEq+Vt la temperatura se mostró decreciente durante todo el proceso (Figura 1c). Exp 4, COv+Vm alcanzó mayor temperatura (40.4°C) el día 13, esto fue efecto de una mayor actividad microbológica, posteriormente mostró disminución gradual (Figura 1d) Guo et al. (2012) reportaron que la tasa de aireación en el compostaje de heces de cerdo con paja de maíz, tuvo diferencias significativas en los cambios de temperatura ( $P=0.023$ ). COv+Vt no alcanzó la fase termófila pero se observó actividad microbológica por los incrementos de temperatura presentados durante los días 4 y 10. En los experimentos, Vm registró mayor temperatura, sin embargo, los volteos realizados no reflejaron cambios en ella, indicando que los estiércoles mezclados tienen suficiente porosidad para permitir intercambio gaseoso. Vt presentó menor temperatura a través del tiempo, se atribuyó a la oxigenación constante del sustrato debido a que los tubos perforados removían calor producido por la actividad microbiana.

### Caracterización de los composts

El cuadro II muestra las características químicas de los compost obtenidos en cada experimento. Experimento 1. CBo no presentó diferencias significativas ( $P>0.05$ ) en las características químicas entre tratamientos. El pH presentó rangos alcalinos, estos valores podrían ser efecto de la mayor liberación de bases relacionada con las sales

minerales que recibían en su dieta los animales. La alcalinización en el compost es resultado de la producción amoniaca y la liberación de bases (Ruíz 2012). Valores alcalinos en pH (7.5 a 8.5) del compost de la fracción sólida de heces de ganado lechero fueron reportados por Brito et al. (2008) probablemente debido al efecto de amortiguamiento de los bicarbonatos. Oviedo et al. (2014), reportaron valores alcalinos en sus pilas de compostaje de biorresiduos de origen municipal debido principalmente al gran contenido de potasio. La CE del CBo aumentó respecto al contenido en el estiércol; Cáceres et al. (2006) reportaron aumento en CE al final del proceso de compostaje de la fracción sólida de estiércol bovino, sin embargo sus valores fueron menores (3 a 5dS/m) a los encontrados en CBo, en este trabajo podría atribuirse a la suplementación que recibieron los animales que contenía sales minerales y a la mineralización de la MO. Al avanzar el proceso de compostaje se incrementa la concentración de sales solubles, las cuales reflejan el progreso de la mineralización de la MO y contribuye al incremento en la salinidad (Cáceres et al. 2006). La norma NADF-020-AMBT-2011 (SEDEMA 2012) establece el uso de compost con rangos de CE <12dS/m en paisajes, áreas verdes urbanas y reforestación. En CBo+Vm y CBo+Vt, hubo una disminución en el contenido de N lo cual pudo deberse a pérdidas por lixiviación debido al exceso de humedad que contenían (>80%). El contenido de K, Mg, Ca, Na y Zn se relacionó con ingesta de sales minerales que contenía la suplementación que recibió el ganado.

Experimento 2. CCa no mostró diferencias estadísticas ( $P>0.05$ ) en la composición química por efecto de los tratamientos. El contenido de N total aumentó con respecto al contenido inicial del estiércol, este hecho ocurre cuando las bacterias nitrificadoras oxidan inmediatamente el amonio liberado por la mineralización de los compuestos orgánicos nitrogenados y no se pierde por volatilización (Diaz, et al. 2007). Brito et al. (2008) mencionan que el aumento de N se debe a la adecuada relación C/N del material inicial, la cual es eficiente para retención del N liberado por la degradación microbiana y disminuir el riesgo por volatilización de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ). La relación C/N inicial fue de 22.2 y al final del proceso fue en CCa+Vm=15.2 y CCa+Vt=16.5, estos valores fueron adecuados como lo reportado por Bueno et al. (2008) (C/N:12.6-21.5) en compost de residuos de poda de leucaena. Los valores de C/N colocan al compost caprino como mejorador de suelo con

uso en agricultura ecológica y reforestación según la NADF-020-AMBT-2011 (SEDEMA 2012).

Experimento 3. CEq mostró diferencias estadísticas ( $P=0.049$ ) en la variable relación C/N. CEq+Vt presentó menor relación C/N respecto al CEq+Vm, lo cual podría indicar que la aireación con tubos perforados a pesar de que promovió disminución en la retención de calor en las pilas, favoreció mayor degradación de MO. Guo et al. (2012) indicaron que la tasa de aireación fue el factor de mayor influencia en la estabilidad del compost y la C/N inicial principalmente influyó en la maduración del compostaje con estiércol porcino. Said y Gigliotti (2007) y Bernal et al. (2009) comentaron que durante la fase activa del proceso de compostaje el carbono orgánico disminuye en el material debido a la descomposición de MO por los microorganismos y esta disminución de MO reduce la C/N. El pH en CEq fue en promedio 7.9 y la CE 3.9. La CE refleja la salinidad de una enmienda orgánica, alto contenido de sales puede causar problemas de fitotoxicidad y por lo tanto es buen indicador para hacer conveniente y seguro el uso del compost en la agricultura. La norma NTEA-006-SMA-RS-2006 (SMA 2006) indica que un compost debe cumplir con las características de pH 6.5 a 8, MO >15%, C/N  $\leq 12$ , P 1g/kg, K 2.5g/kg, relación K/Na >2.5, Cu 0.03g/kg y Zn 0.09g/kg; en este trabajo el CEq cumplió con dichas características excepto en la relación C/N.

Experimento 4. El compost ovino no presentó diferencias estadísticas ( $P>0.05$ ) en la composición química por efecto de los tratamientos. El pH fue en COv+Vm 9 y COv+ Vt 9.2, la CE fue 4.7dS/m y 4.3dS/m respectivamente. Gomez-Brandón et al. (2008) reportaron pH mayores a 9 después de 80 días de compostaje de estiércol bovino, supuestamente debido a humectación del compost maduro con lixiviados obtenidos de los establos y al volteo de las pilas. La concentración de nutrientes N, K, Mg, Ca, Na, Mn, Cu y Zn incrementó respecto a la concentración del estiércol. Cook et al. (2015) reportaron un incremento esperado en Al, Ca, Fe, K y S debido a la limitada movilidad de los compuestos y la concentración elemental debido a la evolución de CO<sub>2</sub> e incremento de materia seca. También reportaron 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). De acuerdo a la concentración

máxima permitida de elementos traza (Cu 150mg/kg y Zn500 mg/kg) en la norma NADF-020-AMBT-2011 (SEDEMA 2012) COv se clasifica en nivel 2 tipo B con uso en agricultura ecológica y reforestación.

### **5.2.7 Conclusiones**

En este estudio el compostaje permitió conservar y mejorar el contenido nutrimental de los estiércoles. CBo, CCa, y COv no mostraron variación en las características químicas por efecto del método de ventilación. En CEq el método de ventilación con tubos de policloruro de vinilo perforados favoreció reducción de la relación C/N, indicando que el espacio de aire libre es funcional para la degradabilidad de materia orgánica fomentando mayor mineralización de los compuestos, sin embargo cuando el estiércol equino se encuentre mezclado con paja de avena, la C/N en la mezcla inicial del sustrato deberá ser balanceado adecuadamente adicionando desechos nitrogenados.

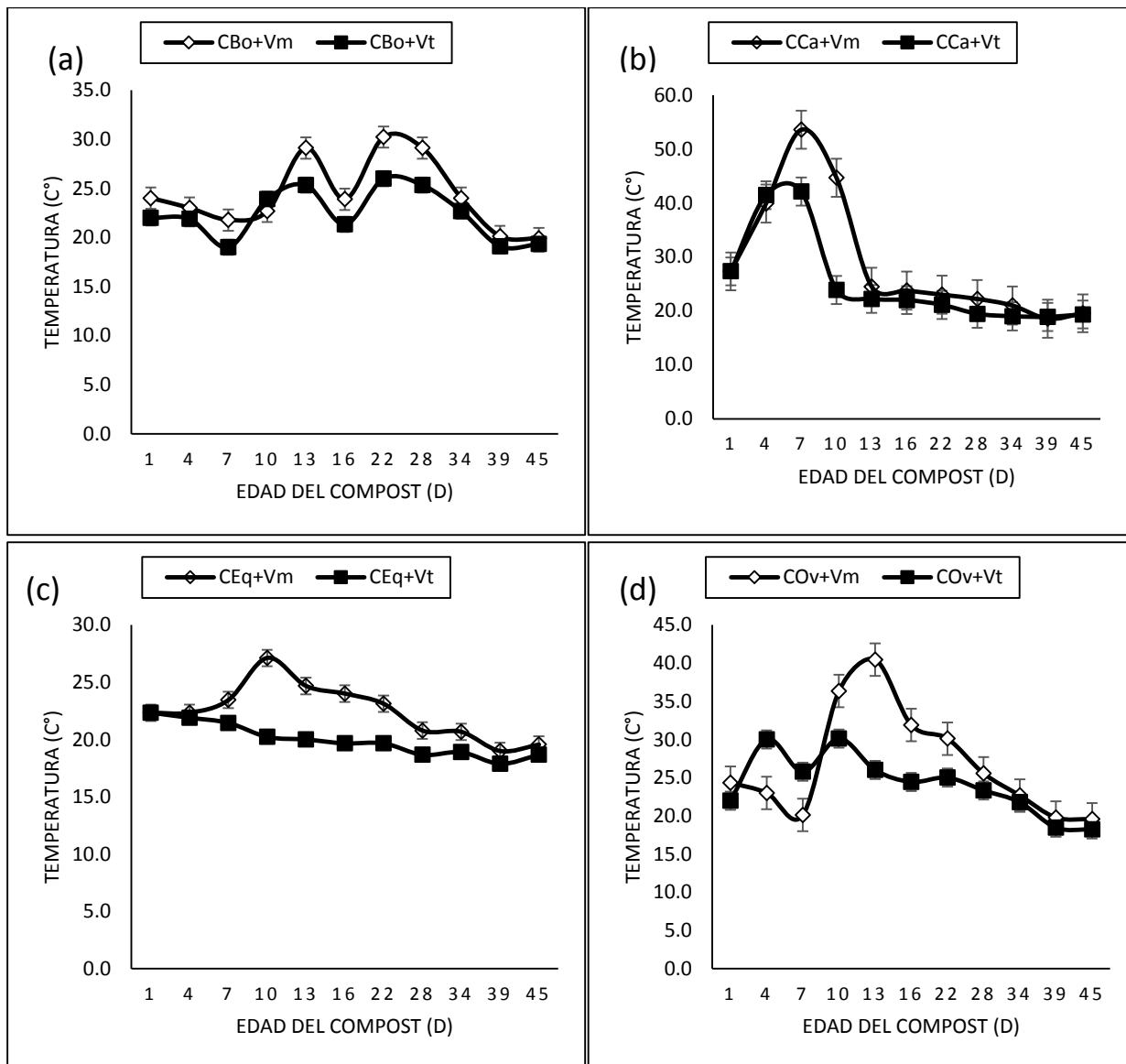


Figura 1. Comportamiento de la temperatura durante los días (D) del proceso de compostaje en los experimentos. a (CBo), b (CCa), c (CEq) y d (COv).



**CUADRO I. ANÁLISIS QUÍMICO DE LOS ESTIÉRCOLES MEZCLADOS.**

Parámetro	Estiércol bovino	Estiércol caprino	Estiércol equino	Estiércol ovino
pH	8.14	8.32	8.01	7.99
CE (dS/m)	3.52	4.79	4.48	5.39
MO (%)	87.45	78.45	86.79	84.95
C (%)	50.73	45.51	50.34	49.28
N (%)	2.04	2.05	1.21	2.19
C/N	24.87	22.20	41.60	22.50
PO <sub>4</sub> (mg/kg)	6 880	2 560	10 140	11 050
K (mg/kg)	15 800	18 800	6 500	18 800
Mg (mg/kg)	3 000	5 700	880	3 800
SO <sub>4</sub> (mg/kg)	600	2 940	5 166.67	3 333.33
Ca (mg/kg)	13 500	36 200	2 360	13 900
Na (mg/kg)	230	7 300	790	2 900
Fe (mg/kg)	1 090	3 600	1 150	1 750
Mn (mg/kg)	440	440	88	430
B (mg/kg)	1 420	840	590	1 460
Cu (mg/kg)	13	30	1.2	15
Zn (mg/kg)	150	360	24	155

**pH:potencial de hidrogeno; CE:conductividad eléctrica; MO:materia orgánica; C:carbono orgánico; N:nitrógeno total; C/N:relación carbono/nitrógeno; PO<sub>4</sub>:fosfato; K:potasio; Mg:magnesio; SO<sub>4</sub>:sulfato; Ca:calcio; Na:sodio; Fe:hierro; Mn:manganeso; B:boro; Cu:cobre; Zn:zinc.**

**CUADRO II. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS COMPOSTS DURANTE UN PROCESO DE COMPOSTAJE DE 45 DÍAS.**

Experimentos	Composts	pH	CE	MO	C	N	C/N	PO <sub>4</sub>	K	Mg	SO <sub>4</sub>	Ca	Na	Fe	Zn	Cu	Mn	B
Exp 1	CBo+Vm	9.1	11.4	69.6	40.4	1.9	20.7	8725	28400	6450	1906.6	33250	9200	3840	465	57.5	640	1265
	CBo+Vt	9.0	7.7	68.5	39.7	1.9	20.4	7700	20300	5500	656.6	27450	5840	3330	311.5	44	610	688
	Media	9.1	9.6	69.1	40.0	1.9	20.5	8213	24350	5975	1282	30350	7520	3585	388	50.8	625	977
	EEM	0.04	1.89	1.42	0.82	0.04	0.35	1446	2589	1066	770	6661	1960	423	108	14.4	90.6	280
	P	0.53	0.43	0.77	0.77	0.96	0.81	0.79	0.09	0.74	0.53	0.74	0.50	0.50	0.58	0.72	0.90	0.40
Exp 2	CCa+Vm	9.0	5.7	71.8	41.6	2.7	15.2	8355	24900	6900	2466.6	27950	4000	3235	350	46.5	870	950
	CCa+Vt	8.5	5.8	72.5	42.0	2.6	16.5	8575	33000	7300	2150	27650	4250	4125	327.5	48.5	785	815
	Media	8.8	5.7	72.2	41.8	2.6	15.9	8465	28950	7100	2308	27800	4125	3680	338.7	47.5	827.5	883
	EEM	0.38	0.59	2.29	1.33	0.17	1.02	1806	3312	668	1262	3373	688	470	34.4	6.76	62.50	396
	P	0.56	0.97	0.91	0.91	0.78	0.65	0.96	0.29	0.82	0.92	0.97	0.89	0.45	0.81	0.91	0.60	0.90
Exp 3	CEq+Vm	7.7	4.3	74.2	43.0	1.5	27.3 <sup>a</sup>	3280	17000	3300	833.3	14150	2665	3445	66.5	4.5	390	1280
	CEq+Vt	8.2	3.5	68.6	39.8	1.8	21.6 <sup>b</sup>	3924	14500	2850	1250	11400	2550	3475	67.5	6	385	1405
	Media	7.9	3.9	71.4	41.4	1.7	24.4	3602	15750	3075	1042	12775	2607	3460	67	5.2	387.5	1342.5
	EEM	0.16	0.62	2.20	1.28	0.10	1.72	249	1427	330	461	1592	488	673	4.71	1.31	21.70	80.50
	P	0.18	0.62	0.26	0.26	0.28	0.04	0.25	0.49	0.60	0.73	0.50	0.93	0.98	0.93	0.67	0.93	0.55
Exp 4	COv+Vm	9.0	4.7	68.5	39.7	2.2	18.2	8080	24250	7850	1583.3	29350	3600	3890	325	50.5	1000	1375
	COv+Vt	9.2	4.3	70.5	40.9	2.8	14.4	10660	23500	7600	1480	30400	4400	3700	320	199	930	1405
	Media	9.1	4.5	69.5	40.3	2.5	16.35	9370	23875	7725	1532	29875	4000	3795	322.5	124.7	965	1390
	EEM	0.41	2.28	1.70	0.98	0.26	1.50	1052	1993	499	787	2022	813	366	28.4	71.5	41.90	63.9
	P	0.89	0.95	0.65	0.65	0.32	0.27	0.29	0.89	0.85	0.96	0.85	0.71	0.85	0.94	0.40	0.51	0.86

**EEM: Error Estándar de la Media; diferentes literales <sup>a,b</sup> indican diferencia significativa ( $P<0.05$ ); CBO+Vm: compost bovino con ventilación manual; CBO+Vt: compost bovino ventilado con tubos perforados; CCa+Vm: compost caprino con ventilación manual; CCa+ Vt: compost caprino ventilado con tubos perforados; CEq+Vm: compost equino con ventilación manual; CEq+Vt: compost equino ventilado con tubos perforados; COv+Vm: compost ovino con ventilación manual y COv+Vt: compost ovino ventilado con tubos perforados.**

### 5.2.7 Bibliografía

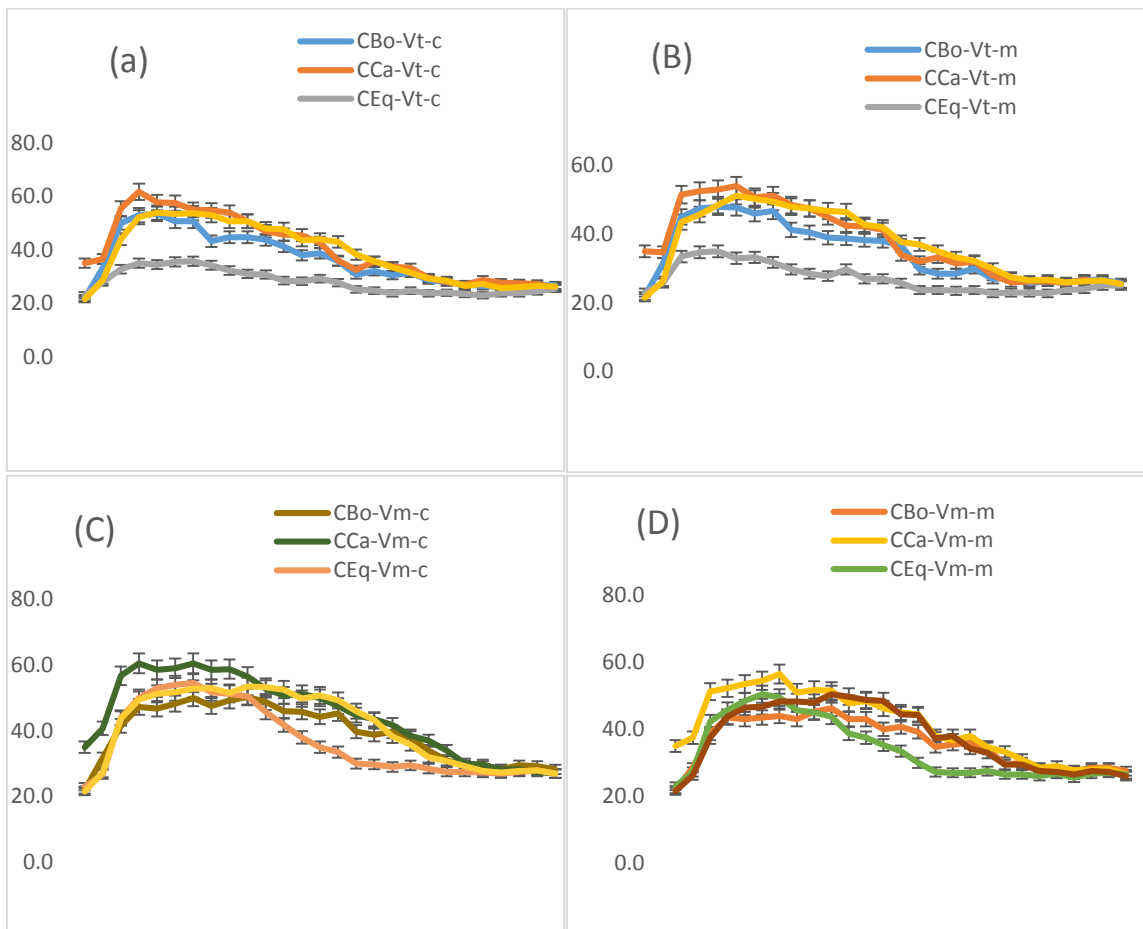
- Azzez J.O. y Van Averbeke W. (2010). Nitrogen mineralization potential of three animal manures applied on a sandy clay loam soil. *Bioresour. Technol.* 101, 5645-5651.
- Bernal M.P., Alburquerque J.A. y Moral R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresour. Technol.* 100, 5444-5453.
- Brito L.M., Coutinho J. y Smith S.R. (2008). Methods to improve the composting process of the solid fraction of dairy cattle slurry. *Bioresour. Technol.* 99, 8995-8960.
- Bueno P., Tapias R., López F. y Díaz M.J. (2008). Optimizing composting parameters for nitrogen conservation in composting. *Bioresour. Technol.* 99, 5069-5077.
- Cáceres R., Flotats X. y Marfà 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.
- Chadwick D.R., John F., Pain B.F., Chambers B.J. y Williams J.C. (2000). Plant uptake of nitrogen from the organic nitrogen fraction of animal manures: a laboratory experiment. *J. Agric. Sci. Camb.* 134, 159-168.
- Cook K.L, Ritchey E.L., Loughrin J.H., Haley M., Sistani K.R. y Bolster C.H. (2015). Effect of turning frequency and season on composting materials from swine high-rise facilities. *Waste Manage.* 39, 86-95.
- Diaz, L.F., De Bertoldi M., Bidlingmaier W. y Stentiford E. (2007). *Compost Science and Technology*. Waste Management Series 8. Elsevier. Amsterdam, The Netherlands. 357 p.

- El Kader N.A., Robin P., Paillat J.M. y Leterme P. (2007). Turning, compacting and the addition of water as factors affecting gaseous emissions in farm manure composting. *Bioresour. Technol.* 98, 2619-2628.
- Gómez-Brandón M., Lazcano C. y Domínguez J. (2008). The evaluation of stability and maturity during the composting of cattle manure. *Chemosphere* 70, 436-444.
- Guo R., Li G., Jiang T., Schuchardt F., Chen T., Zhao Y. y Shen Y. (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.
- Kulcu R. y Yaldiz O. (2004). Composting of goat manure and wheat straw using pine cones as a bulking agent. *Bioresour. Technol.* 98, 2700-2704
- Lazcano C., Gómez-Brandón M. y Domínguez J. (2008). Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. *Chemosphere* 72, 1013-1019.
- Li L-l. y Li S-t. (2014). Nitrogen mineralization from animal manures and its relation to organic N fraction. *Journal of Integrative Agriculture* 13 (9), 2040-2048.
- Luo W.H., Yuan J., Luo Y.M., Li G.X., Nghiem L.D. y Price W.E. (2014). Effects of mixing and covering with mature compost on gaseous emissions during composting. *Chemosphere* 117, 14-19.
- Mirabelli E. (2008). El compostaje proyectado a la lombricultura. Editorial Hemisferio Sur S.A. Buenos Aires, Argentina. 324 p.
- Oviedo O.E.R., Marmolejo R.L.F. y Torres L.P. (2014). Influencia de la frecuencia de volteo para el control de la humedad de los sustratos en el compostaje de biorresiduos de origen municipal. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 30 (1) 91-100.

- Parkinson R., Gibbs P., Burchett S. y Misselbrook T. (2004). Effect of turning regime and seasonal weather conditions on nitrogen and phosphorus losses during aerobic composting of cattle manure. *Bioresour. Technol.* 91, 171-178.
- Pinos R.J.M., García L.J.C., Peña A.L.Y., Rendón H.J.A., González G.C. y Tristán P.F. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *Agrociencia* 46, 359-370.
- Ruíz F.J.F. (2009). Ingeniería del compostaje. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 237 pp.
- Said P.D. y Gigliotti G. (2007). Oxidative biodegradation of dissolved organic matter during composting. *Chemosphere* 68, 1030-1040.
- SEDEMA (2012). Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-020-AMBT-2011. Requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida y/o distribuida en el distrito federal. Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. *Gaceta Oficial del Distrito Federal*. 30 de noviembre de 2012.
- SEECO (2008). Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008. Humus de lombriz (lombricomposta)-Especificaciones y métodos de prueba. Secretaría de Economía. *Diario Oficial de la Federación*. 10 de junio de 2008.
- SMA (2006). Norma Técnica Estatal Ambiental NTEA-006-SMA-RS-2006. Requisitos para la producción de los mejoradores de suelos elaborados a partir de residuos orgánicos. Secretaría de Medio Ambiente. *Gaceta del Gobierno*. 9 de octubre de 2006.
- Szabová E., Juriš P. y Papajová I. (2010). Sanitation composting process in different seasons. *Ascaris suum* as model. *Waste Manage.* 30, 426-432.

### 5.3 OTROS RESULTADOS

En este apartado se presentan los resultados obtenidos en el experimento realizado en la etapa 3 (primavera). La figura 1 muestra comportamiento de la temperatura en la cima y en medio de las pilas de compostaje.



**45 días de compostaje**

Figura 1. Comportamiento de la temperatura durante el compostaje de heces pecuarias en primavera.

Método de ventilación con tubos: temperatura medida en la cima (A) y en el medio de la pila (B). Método de ventilación manual: temperatura medida en la cima (C) y en el medio de la pila (D).

El análisis estadístico realizado a las variables de la composición química e índice de germinación se muestra en el cuadro 1 y la correlación lineal en el cuadro 2.

En el cuadro 3 se muestran los valores de las media de las características químicas de las compostas obtenidas a partir de heces de bovino, caprino equino y ovino durante las tres etapas de compostaje realizado en la presente investigación.

Cuadro 1. Características químicas e índice de germinación de las compostas obtenidas de heces pecuarias en primavera.

	CBo			CCa			CEq			COv			EEM
	Vm	Vt	Media	Vm	Vt	Media	Vm	Vt	Media	Vm	Vt	Media	
pH (1:4)	8.9	8.6	8.7 <sup>a</sup>	8.1	8.4	8.2 <sup>a</sup>	7.7	7.6	7.6 <sup>b</sup>	8.5	8.1	8.3 <sup>a</sup>	0.19
CE (dS m <sup>-1</sup> )	19.1	15.7	17.4 <sup>a</sup>	7.6	6.9	7.2 <sup>c</sup>	5.5	7.6	6.5 <sup>c</sup>	11.9	15.1	13.5 <sup>b</sup>	0.78
CIC (Cmol kg <sup>-1</sup> )	817.5	839.2	828.3	836.2	842.2	839.2	837.5	838.3	837.9	830	831.7	830.8	6.62
MO (g kg <sup>-1</sup> )	317.3	309.3	313.3 <sup>b</sup>	432.3	460	446.1 <sup>a</sup>	333	388.3	360.7 <sup>ab</sup>	380.6	468	424.3 <sup>a</sup>	15.39
C (g kg <sup>-1</sup> )	184.0	179.4	181.7 <sup>b</sup>	250.7	266.8	258.8 <sup>a</sup>	193.1	225.2	209.1 <sup>bc</sup>	220.8	271.5	246.1 <sup>ac</sup>	8.98
N (g kg <sup>-1</sup> )	20.3	27.3	23.8 <sup>d</sup>	45.0	42.7	43.8 <sup>a</sup>	25.0	24.7	24.8 <sup>c</sup>	30.7	31.7	31.2 <sup>b</sup>	0.45
C/N	9.0 <sup>A</sup>	6.6 <sup>B</sup>	7.8 <sup>bc</sup>	5.6 <sup>B</sup>	6.2 <sup>A</sup>	5.9 <sup>c</sup>	7.7 <sup>B</sup>	9.1 <sup>A</sup>	8.4 <sup>a</sup>	7.2 <sup>B</sup>	8.6 <sup>A</sup>	7.9 <sup>ab</sup>	0.82
K (mg kg <sup>-1</sup> )	109 <sup>A</sup>	95.9 <sup>B</sup>	102.4 <sup>a</sup>	75.8 <sup>A</sup>	73.4 <sup>B</sup>	74.6 <sup>c</sup>	67.5 <sup>A</sup>	61.3 <sup>B</sup>	64.4 <sup>c</sup>	93.3 <sup>A</sup>	89.5 <sup>B</sup>	91.4 <sup>b</sup>	3.66
Mg (mg kg <sup>-1</sup> )	10.8	5.0	7.9	4.0	6.6	5.3	10.9	7.9	9.4	1.1	1.0	1.05	3.54
Ca (mg kg <sup>-1</sup> )	131.3	210.4	170.8	192.5	143.2	167.8	177.4	179.8	178.6	145.2	139.9	142.5	29.31
Na (mg kg <sup>-1</sup> )	64.6	58.7	61.6 <sup>a</sup>	34.8	32.4	33.6 <sup>b</sup>	26.7	24.8	25.7 <sup>c</sup>	33.8	44.0	38.9 <sup>b</sup>	2.53
IG (%)	48.7 <sup>B</sup>	66.6 <sup>A</sup>	57.7 <sup>c</sup>	82.0 <sup>A</sup>	81.2 <sup>B</sup>	81.6 <sup>a</sup>	87.2 <sup>B</sup>	89.7 <sup>A</sup>	88.5 <sup>a</sup>	76.9 <sup>A</sup>	74.3 <sup>B</sup>	75.6 <sup>b</sup>	2.39

Las distintas letras minúsculas en los valores de las medias muestran las diferencias estadísticas por el tipo de composta y las mayúsculas por el método de ventilación, según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.005$ ).



Cuadro 2. Correlación lineal entre las variables analizadas en la composta obtenida a partir de heces pecuarias durante la primavera.

	pH	CE	CIC	MO	C	N	C/N	K	Mg	Ca	Na	IG
CE	<b>0.657</b> <b>0.000</b>											
CIC	-0.192 0.368	-0.395 0.056										
MO	-0.136 0.526	-0.259 0.222	0.259 0.222									
C	-0.136 0.525	-0.257 0.225	0.256 0.227	<b>1.000</b> <b>0.000</b>								
N	0.124 0.564	-0.341 0.103	0.295 0.162	<b>0.582</b> <b>0.003</b>	<b>0.580</b> <b>0.003</b>							
C/N	-0.384 0.064	0.030 0.888	-0.69 0.749	<b>0.339</b> <b>0.105</b>	<b>0.342</b> <b>0.102</b>	-0.554 0.005						
K	<b>0.821</b> <b>0.000</b>	<b>0.884</b> <b>0.000</b>	-0.377 0.069	-0.219 0.303	-0.218 0.305	-0.150 0.484	-0.159 0.458					
Mg	-0.102 0.635	-0.109 0.614	-0.019 0.929	-0.352 0.092	-0.355 0.089	-0.264 0.213	-0.025 0.908	-0.196 0.358				
Ca	-0.291 0.635	-0.046 0.831	0.023 0.916	-0.062 0.772	-0.059 0.785	-0.001 0.996	0.025 0.907	-0.128 0.552	-0.173 0.419			
Na	<b>0.718</b> <b>0.000</b>	<b>0.887</b> <b>0.000</b>	-0.338 0.107	-0.306 0.146	-0.305 0.147	-0.200 0.350	<b>0.159</b> <b>0.459</b>	<b>0.843</b> <b>0.000</b>	0.003 0.989	-0.063 0.771		
IG	<b>-0.628</b> <b>0.001</b>	<b>-0.880</b> <b>0.000</b>	<b>0.602</b> <b>0.002</b>	0.376 0.070	0.375 0.071	0.282 0.182	<b>0.127</b> <b>0.555</b>	<b>-0.829</b> <b>0.000</b>	-0.090 0.677	0.038 0.861	<b>-0.882</b> <b>0.000</b>	

Los valores en negrita son las correlaciones de moderado a fuerte magnitud.

Cuadro 3. Características químicas de las compostas obtenidas durante las estaciones del año.

Estación del año	Tipo de composta	pH	MO (%)	C (%)	N (%)	C/N
<b>VERANO</b>	CBo	9.1	45	26.1	1.6	16.3
	CCa	9.7	33.4	19.4	1.1	17.6
	CEq	7.9	55.1	31.9	0.7	45.6
	COv	9.6	27.6	16.4	1.7	9.4
<b>OTOÑO- INVIERNO</b>	CBo	9.1	69.1	40.0	1.9	20.5
	CCa	8.8	72.2	41.8	2.6	15.9
	CEq	7.9	71.4	41.4	1.7	24.4
	COv	9.1	69.5	40.3	2.5	16.3
<b>PRIMAVERA</b>	CBo	8.7	31.3	18.1	2.4	7.8
	CCa	8.2	46.6	25.8	4.4	5.9
	CEq	7.6	36	20.9	2.5	8.4
	COv	8.3	42.4	24.6	3.1	7.9

CBo, composta de heces bovinas; CCa, composta de heces caprinas; CEq, composta de heces equinas; COv, composta de heces ovinas; pH, potencial de hidrógeno; MO, materia orgánica; C, carbono orgánico; N, nitrógeno total; C/N, relación carbono/nitrógeno. Los valores las medias  $n=3$  muestras en Verano y Primavera y  $n=2$  muestras en Otoño-Invierno.

## VI. DISCUSIÓN GENERAL

La característica física de temperatura en las compostas es muy importante porque muestra la actividad microbiana y la aparición de los procesos del compostaje (Bernal *et al.*, 2009); en esta investigación los patrones de temperatura fueron evaluados durante el proceso de compostaje de heces de bovinos, caprinos, equinos y ovinos en cada una de las etapas correspondientes a las diferentes estaciones del año. Estos patrones de temperatura mostraron que la mayoría de las pilas de compostaje conducidas durante la primavera mostraron la fase termófila según lo establecido por Diaz *et al.* (2007) donde mencionaron que la fase termófila ocurre cuando la temperatura del sustrato se encuentra entre 35 y 65°C y para tener alta tasa de biodegradación y máxima diversidad microbiana la temperatura debe oscilar entre 30 y 45°C. Altas temperaturas indican la biodegradación activa de la materia orgánica, con el agotamiento gradual de ésta, la temperatura disminuye entrando la MO en fase de curación (Luo *et al.*, 2014). Los experimentos realizados durante el verano y otoño-invierno mostraron resultados similares a los reportados por Hernández *et al.* (2013) donde sus tratamientos con heces de ganado vacuno y aves alcanzaron las máximas temperaturas entre 35 y 40°C, por lo cual reportaron que los materiales fueron semicompostados.

Las características químicas de las compostas como pH, CE, CIC, entre otras aumentaron con respecto a los valores iniciales de las heces. Roca *et al.* (2009) 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. Las compostas tienen un alto contenido de CIC por las sustancias húmicas que se generan conforme los residuos van degradándose (Venegas *et al.*, 2005), dichos autores reportaron un aumentó en los valores de CIC en compostas de cachaza de caña de azúcar composteada durante el primer año de 38.44 a 128.9 Cmol kg<sup>-1</sup> y al final del proceso (36 meses) un decremento hasta 56.18 Cmol kg<sup>-1</sup>.

El contenido de MO es un indicador importante del grado de descomposición de un residuo orgánico, en esta investigación, el contenido de MO al final del proceso de compostaje de todos los experimentos disminuyó con respecto al contenido inicial en las heces; comportamiento similar fue reportado Kulcu y Yaldiz (2007) en el compostaje de estiércol caprino mezclado con paja y diferentes proporciones de conos de pino (5, 10 y 15%) teniendo un contenido promedio inicial de MO de 71.87% y promedio final de 48.04% en todos los tratamientos.

La conservación de nutrientes en el producto final (composta), es importante para que no se afecte su valor agronómico y su potencial como abono orgánico. El nitrógeno (N) disponible para las plantas a partir de estiércoles es altamente dependiente de la composición de los mismos (Li y Li, 2014) y la calidad del estiércol varía en relación al tipo de animal, edad, dieta y sistema de manejo (Chadwick *et al.*, 2000). Durante el proceso de compostaje, el contenido de nitrógeno total disminuye principalmente por volatilización del amonio (Diaz *et al.*, 2007), en este estudio existió disminución del contenido de N en las compostas realizadas en el verano, lo cual podría indicar efecto por la estacionalidad, provocando lavados de nutrientes como lo reportaron Parkinson *et al.* (2004) con pérdidas de nitrógeno en forma de nitratos y amonio por lixiviación (193 y 192.8 mg l<sup>-1</sup> respectivamente) cuando se realizaron volteos frecuentes en el proceso de compostaje de ganado vacuno. Sin embargo, en la presente investigación, durante el experimento de otoño-invierno y primavera el contenido de N aumentó, este hecho ocurre cuando las bacterias nitrificadoras oxidan inmediatamente el amonio liberado por la mineralización de los compuestos orgánicos nitrogenados y no se pierde por volatilización (Diaz *et al.*, 2007). Parkinson *et al.* (2004) reportaron que durante los períodos fríos la pérdida de NH<sub>3</sub>-N de la proporción inicial del N total fue más baja que en el compostaje de estiércol bovino realizado en condiciones ambientales cálidas. Por otro lado, Brito *et al.* (2008) mencionan que el aumento de N se debe a la adecuada relación C/N del material inicial, la cual es eficiente para retención del N liberado por la degradación microbiana y disminuir el riesgo por volatilización de amoniaco (NH<sub>3</sub>).

La relación C/N indica el grado de descomposición de un desecho, una menor relación C/N se refiere a un mayor grado de descomposición (Lazcano *et al.*, 2008). El CEq mostró una relación C/N alta en el compostaje durante verano y otoño-invierno, esto pudo deberse a que el tiempo del proceso de compostaje no fue suficiente para degradar los compuestos complejos como celulosa y hemicelulosa contenidos en la paja mezclada con las heces. Costa *et al.* (2014) reportaron un contenido mayor en la relación C/N (34 y 28) en compostas de estiércol ovino que contenía paja como cama y estaba mezclado con estiércol bovino en proporción 0:100 y 25:75 respectivamente.

Los factores involucrados en el proceso de compostaje como la aireación, la relación inicial C/N y el contenido de humedad, influyen en el contenido de nutrientes, madurez y estabilidad del compost (Guo *et al.*, 2012). Excesiva aireación puede incrementar pérdidas de amoníaco y conducir más lento el proceso; una relación inicial C/N baja, puede incrementar pérdidas de nitrógeno como gas amoníaco y el contenido de humedad puede afectar la calidad del compost pero no significativamente (Guo *et al.*, 2012). En los experimentos de otoño-invierno y primavera, se utilizaron dos métodos de ventilación en las pilas de compost, en CEq el método de ventilación con tubos de policloruro de vinilo perforados favoreció reducción de la relación C/N, indicando que el espacio de aire libre es funcional para la degradabilidad de materia orgánica fomentando mayor mineralización de los compuestos.

La ventilación manual permitió conservar por más tiempo la temperatura en las pilas de compostaje y estas temperaturas fueron más altas que las registradas en el método de ventilación con tubos debido a que la oxigenación constante del sustrato por medio de los tubos perforados removían el calor producido por la actividad microbiana.

## VII. CONCLUSION GENERAL

En la estación de verano la temperatura en las pilas de compostaje se comportó diferente. El compostaje de HC y HB alcanzaron las temperaturas más altas, seguido de HO y finalmente el compostaje de HE registró las menores temperaturas. La composta de heces de equino tuvo menor pH y cantidad de P, Ca y Na, sin embargo, la C/N fue muy alta saliendo de los parámetros sugeridos por la literatura. El contenido de N y C no presentó diferencias estadísticas entre las compostas, pero se observó una pérdida de N posiblemente por lixiviación en todas las pilas de compostaje, lo cual se podría atribuir a la estacionalidad, puesto que era período de lluvias.

El compostaje realizado en el período de otoño-invierno permitió conservar y mejorar el contenido nutrimental de las heces. CBo, CCa, y COv no mostraron variación en las características químicas por efecto del método de ventilación. En CEq el método de ventilación con tubos de policloruro de vinilo perforados favoreció reducción de la relación C/N, indicando que el espacio de aire libre es funcional para la degradabilidad de materia orgánica fomentando mayor mineralización de los compuestos, sin embargo cuando el estiércol equino se encuentre mezclado con paja de avena, la C/N en la mezcla inicial del sustrato deberá ser balanceado adecuadamente adicionando desechos nitrogenados.

Durante la estación de primavera, la temperatura en la cima de las pilas de compostaje mostró temperaturas por encima de los 50°C en todas las compostas excepto CEq+Vt. En el método Vm, todas las compostas mostraron la fase termófila. En el método de Vt el CEq, no mostró la fase termófila. La temperatura medida en la parte media de la pila de compostaje tuvo una temperatura menor aproximadamente de 2-5°C en todas las compostas. Hubo diferencias significativas en todas las variables de la composición química por el factor de tipo de compostas excepto en CIC, Mg y Na. Se presentaron diferencias significativas por el método de ventilación en las variables de C/N, K e IG. Los CCa y CEq obtenidos mediante los dos métodos de ventilación tuvieron el mejor índice de germinación con más del

80%. La correlación lineal entre la variable IG con pH, CE, K y Na fue negativa y positiva con CIC.

Las compostas obtenidas durante las diferentes estaciones del año tuvieron un pH alcalino excepto la composta de equino. El contenido de nitrógeno fue mayor en todas las compostas obtenidas en la estación de primavera y tuvieron menor relación C/N.