

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**EVALUACIÓN DE DIFERENTES SUSTRATOS PARA LA PRODUCCIÓN  
DE LOMBRICOMPOSTA DE ACUERDO A LA NORMA MEXICANA  
NMX-FF-109-SCFI-2008**

**TESIS**

QUE COMO PARTE DE LOS REQUISITOS PARA OBTENER EL DIPLOMA DE  
**ESPECIALIDAD EN INGENIERÍA DE INVERNADEROS**

PRESENTA

**OLGA DEL CARMEN LAYSECA LÓPEZ**

DIRIGIDO POR:

**Dra. ROSALÍA VIRGINIA OCAMPO VELÁZQUEZ**

C.U. QUERÉTARO, QRO. DICIEMBRE 2013



Universidad Autónoma de Querétaro  
 Facultad de Ingeniería  
 Especialidad en Ingeniería de Invernaderos

Evaluación de diferentes sustratos para la producción de lombricomposta de acuerdo a la norma mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008.

**TESIS**

Que como parte de los requisitos para obtener el Diploma de  
 Especialidad en Ingeniería de Invernaderos

**Presenta:**

Olga del Carmen Layseca López

**Dirigido por:**

Dra. Rosalía Virginia Ocampo Velázquez

**SINODALES**

Dra. Rosalía Virginia Ocampo Velázquez  
 Presidente

Dr. Enrique Rico García  
 Secretario

M en C. Luciano Ávila Juárez  
 Vocal

Dr. Irineo Torres Pacheco  
 Suplente

Dr. Ramón Gerardo Guevara González  
 Suplente

Dr. Aurelio Domínguez González  
 Director de la Facultad

Firma

Firma

Firma

Firma

Firma

Firma

Dr. Irineo Torres Pacheco  
 Director de Investigación y  
 Posgrado

Centro Universitario  
 Querétaro, Qro.  
 Diciembre, 2013  
 México

## RESUMEN

Se da el nombre de vermicompostaje al proceso de bio-oxidación, degradación y estabilización de la materia orgánica por la acción de lombrices y microorganismos, mediante el cual se obtiene un producto final estabilizado, homogéneo y de granulometría fina llamado humus de lombriz. Actualmente se recomienda el uso de humus de lombriz en la producción agrícola ya que satisface la demanda de nutrientes de los cultivos, mejora las características de los vegetales consumidos y las características de suelos que han sido deteriorados por el uso excesivo de agroquímicos; sin mencionar las ventajas que trae como alternativa en el tratamiento de residuos orgánicos urbanos. El objetivo del presente trabajo fue evaluar diferentes sustratos y su composteo como alimento de lombriz (*Eisenia fetida*) en la calidad del humus y la tasa de reproducción de la lombriz. Se evaluaron cuatro sustratos (residuos de invernadero de tomate, residuos de cocina, estiércol ovino y gallinaza) y el manejo (composteados y sin compostear), dando un total de ocho tratamientos con cinco repeticiones. La calidad del humus se definió de acuerdo a las especificaciones de la NMX-FF-109-SCFI-2008 y su contenido nutrimental. El experimento consistió en inocular 20 lombrices adultos  $L^{-1}$  en cajas de plástico por cada tratamiento y repetición. Durante el proceso de compostaje, el sustrato que alcanzó temperaturas mayores a 50 °C fue la de desechos de cocina; las restantes no alcanzaron la fase termófila y el pH y la CE se elevó al final del compostaje en todos los sustratos. Las lombrices inoculadas en sustratos frescos tuvieron mortalidad del 100%. El pH al final de la vermicomposta aumentó y la CE disminuyó. El sustrato que presentó el mayor número de lombrices adultas fue el de cocina, el de lombrices jóvenes fue el estiércol composteado, el de cocones fue el desecho de cocina y en biomasa los desechos de cocina. No hubo diferencias significativas entre tratamientos composteados y sin compostear, por lo cual para este experimento no se puede concluir que el uso de sustratos composteados mejora la calidad de humus de acuerdo a la norma NMX-FF-109-SCFI-2008.

**(Palabras clave:** vermicomposta, humus, *Eisenia fetida*, sustratos orgánicos)

## SUMMARY

Vermicomposting is the process of bio-oxidation, degradation and stabilization of organic matter by the action of earthworms and microorganisms, which final product is a stabilized, homogeneous, fine grained vermicompost. Currently is recommend the use of vermicompost in agricultural production, satisfying the demand for crop nutrients, improving the characteristics of the vegetables consumed and the characteristics of soils that have been damaged by excessive use of agrochemicals, not to mention the benefits it brings as an alternative in the treatment of organic waste. The objective of this study was to evaluate different substrates and their composting as worm food (*Eisenia fetida*) in humus quality and rate of reproduction of earthworm. Four substrates were evaluated (tomato greenhouse waste, kitchen waste, sheep and poultry manure) and their management (composted and not composted) for a total of eight treatments with five replications. Humus quality was defined according to the specifications of the NMX-FF-109-SCFI-2008 standard and its nutritional content. The experiment consisted of inoculating 20 adult earthworms (*Eisenia fetida*) L<sup>-1</sup> in plastic boxes by treatments and repetitions. The compost that reached temperatures above 50° C was the kitchen waste, the rest did not reach thermophilic phase and the pH and EC rose at the end of composting. The worms that were inoculated into fresh substrates had 100% mortality. The pH at the end of the vermicompost increased and the EC decreased. The substrate that had the highest number of adult worms was the kitchen waste, the largest number of young worms was composted manure, the highest number of cocoons was kitchen waste and the highest biomass was kitchen waste. No significant differences between treatments composted and without composted were found, so for this experiment we cannot conclude that the use of composted substrates improves the quality of humus according to NMX-FF-109-SCFI -2008 standard.

**(Key words:** vermicompost, humus, *Eisenia fetida*, organic substrates)

**A mi esposo, hijo, compañeros, maestros y a  
todos los que colaboraron en este trabajo.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la Universidad Autónoma de Querétaro por su apoyo y patrocinio para la realización de esta de tesis.

Un sincero agradecimiento a todas y cada una de las personas que participaron en la elaboración y revisión de la presente investigación, sin su apoyo este trabajo no hubiera podido realizarse.

A todos los que me ayudaron y apoyaron al estudiar esta especialidad, en particular a mi esposo e hijo que les toco disfrutar y sufrir conmigo.

# ÍNDICE

	<b>Página</b>
RESUMEN .....	i
SUMMARY .....	ii
DEDICATORIAS .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
ÍNDICE .....	v
ÍNDICE DE CUADROS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1 Vermicompostaje. ....	3
2.2 Lombriz roja californiana ( <i>Eisenia fetida</i> ). ....	3
2.2.1 Taxonomía.....	3
2.2.2 Morfología.....	4
2.2.3 Ciclo de vida. ....	4
2.2.4 Hábitat y condiciones cultivo.....	5
2.2.5 Lombrices utilizadas en la producción de humus.....	6
2.3 Sistema de tratamiento de los desechos orgánicos antes del compostaje. ....	7
2.4 Norma Oficial Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008.....	7
2.5 Compostaje de residuos orgánicos.....	9
2.5.1 Temperatura. ....	10
2.5.2 pH. ....	10
2.5.3 Conductividad eléctrica.....	10
2.5.4 Humedad. ....	10
2.6 Nutrimientos de las plantas .....	11
2.7 Criterios para la dosificación de lombricomposta como fertilizante.....	12

III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS .....	13
3.1 Objetivo general.....	13
3.2 Objetivos particulares. ....	13
3.3 Hipótesis. ....	13
IV. METODOLOGÍA .....	14
4.1 Localización del área de estudio.....	14
4.2 Diseño de experimentos. ....	14
4.3 Compostaje de sustratos. ....	16
4.3.1 Calibración de sensores de temperatura .....	17
4.4 Lombricomposta .....	17
4.4.1 Prueba de inoculación .....	17
4.4.2 Inoculación de lombrices. ....	18
4.5 Humus de lombriz. ....	19
4.5.1 Determinación de especificaciones sensoriales .....	20
4.5.2 Determinación del grado de calidad analizando los atributos .....	20
4.5.3 Análisis de las especificaciones fisicoquímicas .....	22
4.5.4 Análisis de especificaciones microbiológicas.....	23
4.5.5 Determinación de fertilidad. ....	23
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	24
5.1 Compostaje de sustratos. ....	24
5.1.1 Calibración de sensores de temperatura. ....	27
5.2 Lombricomposta .....	29
5.2.1 Prueba de Inoculación .....	29
5.2.2 Inoculación de lombrices .....	30
5.3 Humus de lombriz. ....	37
5.3.1 Determinación de especificaciones sensoriales .....	37
5.3.2 Determinación del grado de calidad analizando los atributos .....	38
5.3.3 Análisis de las especificaciones fisicoquímicas .....	40
5.3.4 Análisis de especificaciones microbiológicas.....	42



5.3.5 Determinación de fertilidad. ....	43
VI. CONCLUSIONES .....	47
LITERATURA CITADA.....	49

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Página</b>
2.1. Especificaciones sensoriales de la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008.....	8
2.2. Grados de calidad para el humus de lombriz de la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008.....	8
2.3. Especificaciones fisicoquímicas del humus de lombriz (lombricomposta) de la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008. ....	8
2.4. Límites máximos permisibles para especificaciones microbiológicas de la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008.....	9
4.1. Relación de tratamientos a implementar como alimento para el cultivo de lombriz ( <i>Eisenia fetida</i> ).....	15
4.2. Determinaciones fisicoquímicas y métodos.....	22
4.3. Análisis de especificaciones microbiológicas para humus de lombriz según la NMX-FF-109-SCFI-2008. ....	23
5.1. pH y CE del inicio y el final del proceso de compostaje. ....	27
5.2. Formulas empleadas para el ajuste y coeficiente R-cuadrado de los sensores de temperatura de las compostas. ....	28
5.3. Temperatura, pH y CE de los sustratos en las cajas de las lombricompostas.....	29
5.4. pH y CE al inicio y final del lombricompostaje de cuatro sustratos orgánicos composteados y sin compostear.....	31
5.5. Análisis de varianza de dinámica poblacional de las lombrices. ....	36
5.6. Determinación de especificaciones sensoriales (olor y color) de humus de lombriz de acuerdo a la norma NMX-FF-109-SCFI-2008.....	38
5.7. Determinación del grado de calidad analizando los atributos para humus de lombriz de acuerdo a la norma NMX-FF-109-SCFI-2008.....	39
5.8. Análisis de las especificaciones fisicoquímicas para humus de lombriz de acuerdo a la norma NMX-FF-109-SCFI-2008. ....	42

<b>5.9. Análisis de especificaciones microbiológicas .....</b>	<b>43</b>
<b>5.10. Análisis de fertilidad de diferentes sustratos orgánicos composteados y sin compostear.....</b>	<b>46</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
<b>2.1.</b> Lombrices de diferentes edades. a) Lombriz pequeña, b) Lombriz juvenil y c) Lombriz en estado de reproducción (García y Solano, 2005). ....	4
<b>4.1.</b> a) Área de compostaje y b) Área de lombricompostas. ....	14
<b>4.2.</b> Ubicación de cajas de lombricomposta alimentadas con los diferentes sustratos orgánicos. ....	15
<b>4.3.</b> a) Parrilla con agitador Barnstead Thermolyne, modelo SP 131325, marca CIMAREC y b) medidor manual de pH FieldScout SoilStik pH Meter, marca Spectrum Technologies, Inc. ....	19
<b>5.1.</b> Temperatura de los primeros dos días de compostaje de los cuatro sustratos orgánicos. ....	24
<b>5.2.</b> Temperatura promedio diaria de las compostas de cuatro sustratos orgánicos. ....	26
<b>5.3.</b> Voltaje de los sensores de temperatura. ....	28
<b>5.4.</b> a) Lombrices inoculadas directamente en el sustrato y b) lombrices muertas al segundo día sobre el sustrato de estiércol ovino. ....	30
<b>5.5.</b> Temperatura durante el proceso de lombricompostaje de diferentes sustratos orgánicos composteados y sin compostear. ....	32
<b>5.6.</b> pH durante el proceso de lombricompostaje de diferentes sustratos orgánicos composteados y sin compostear. ....	33
<b>5.7.</b> a) Núm. de lombrices adultas, b) Núm. de juveniles, c) Núm. de cocones y d) Biomasa (gr). ....	35
<b>5.8.</b> a) Lombriz viva y b) semillas viables emergidas en sustrato de cocina. ....	40

## I. INTRODUCCIÓN

Las proyecciones muestran que para el 2050 habrá una población mundial de 9,100 millones de personas (FAO, 2009), lo cual demanda el aumento en la producción de alimentos de calidad e inocuos.

Los problemas que enfrenta actualmente nuestro país son la generación de desechos orgánicos, que se estiman en 59 mil toneladas diarias en el país en el 2011, y en promedio cerca de 66.7 miles de toneladas anuales de excretas de ganado (porcino y bovino lechero) (SEMARNAT, 2013); los cuales no se manejan de manera adecuada y generan un elevado gasto social además de afectar a la sociedad.

El uso indiscriminado de agroquímicos y en particular de pesticidas ha provocado la contaminación de aguas superficiales y subterráneas por fertilizantes (eutrofización) (Ongley, 1997), daños a la salud humana como son intoxicaciones a los agricultores, afecciones en la piel (dermatitis crónica) (Ruel y Hawkes, 2006) y cáncer gástrico por el consumo de agua con exceso de nitratos (Anon., 1992). Además de lo anterior, el elevado costo de los fertilizantes hace cada vez más incosteable la producción de alimentos.

Por otro lado, en México el sector productor agrícola orgánico ha crecido 45% a partir de 1996. Para el 2002, se estimó un total de casi 210 mil hectáreas, el número de productores se ha incrementado a más de 53 mil, mientras que las divisas han alcanzado más de 280 millones de dólares. Hay 668 zonas de producción orgánica detectadas en el 2004, las cuales demandan el uso de abonos orgánicos (Gómez y Gómez, 2004).

Debido a lo anterior, y en particular a la disminución de la materia orgánica en los suelos de cultivo, el cual en Guanajuato es del 1%, mientras que el óptimo es del 5% (Paredes et al., 2013) y a la falta de metodología para la producción de humus de lombriz que cumpla con la calidad necesaria para su venta, así como para garantizar un producto confiable e inocuo surge este trabajo, ya que con la producción de humus de lombriz y su correcto uso para la

producción agrícola se puede reducir problemas sociales y ambientales urgentes de resolver como son los mencionados anteriormente.

El objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad del humus de lombriz de acuerdo a la norma oficial mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008, "Humus de lombriz (lombricomposta) – especificaciones y métodos de prueba", utilizando diversos sustratos, composteados y sin compostear, como alimento de la lombriz.

Por sus propiedades de adaptación, proliferación, longevidad, capacidad reproductiva, entre otras (Barbado, 2004; Moreno y Moral, 2008), se eligió trabajar con la lombriz *Eisenia fetida* para la producción de humus en esta investigación.

## II. REVISION DE LITERATURA

### **2.1 Vermicompostaje.**

El vermicompostaje es un proceso de bio-oxidación, degradación y estabilización de la materia orgánica por la acción de lombrices y microorganismos, mediante el cual se obtiene un producto final estabilizado, homogéneo y de granulometría fina llamado vermicomposta, lombricomposta, cosmpost de lombriz o humus de lombriz (Moreno y Moral, 2008).

Los abonos orgánicos, entre ellos la lombricomposta pueden satisfacer la demanda de nutrientes de los cultivos, lo que reduce significativamente el uso de fertilizantes químicos, mejoran las características de los vegetales consumidos y de suelos que han sido deteriorados por el uso excesivo de agroquímicos, controla la erosión (Dalzell et al., 1991; Olivares et al., 2012).

Durán y Henríquez (2007), enlistan las características benéficas del humus de lombriz las cuales son la riqueza en la flora bacteriana, lo que facilita la producción de enzimas importantes para la descomposición de la materia orgánica cuando esta se aplica al suelo, la mineralización del nitrógeno, lo que favorece la nitrificación, su composición de carbono, oxígeno, nitrógeno, calcio, potasio, fierro, manganeso y zinc, entre otros, su riqueza de microorganismos, su efecto supresor sobre algunos patógenos del suelo, ausencia de patógenos humanos como *Salmonella* y *Escherichia coli*, sin embargo sus propiedades difieren según el sustrato utilizado, las proporciones, el estado de descomposición, el tiempo y las condiciones en las que se lleve a cabo el vermicompostaje.

### **2.2 Lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*).**

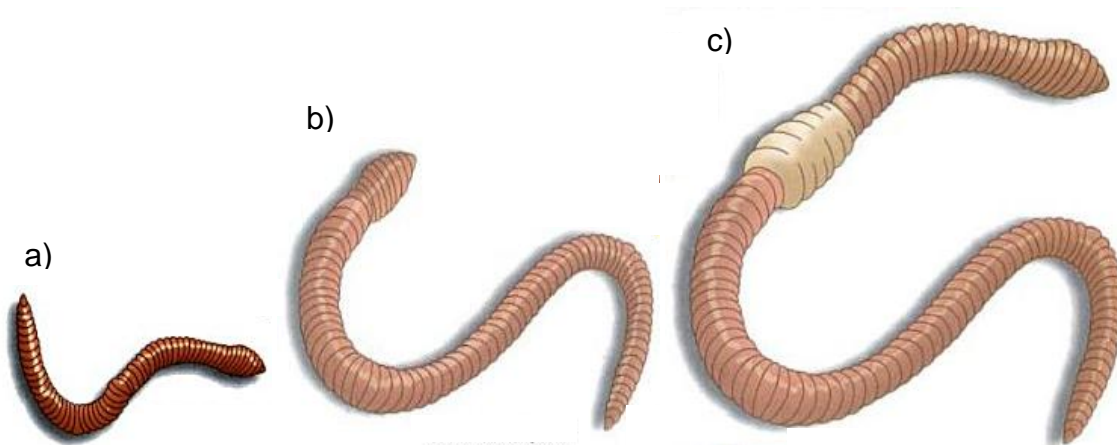
#### **2.2.1 Taxonomía.**

La lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*) pertenece a la familia Lumbricidae, filo Annelida, clase Clitellata, subclase Oligochaeta y orden Haplotaxida (Prooznia, 2007). *Eisenia fetida* es la lombriz más utilizada por que presenta gran capacidad de adaptación, permanece en cautiverio sin fugarse de

su lecho, es muy prolifera, su longevidad puede ser de hasta 15 años si las condiciones son favorables, su capacidad reproductiva es muy elevada, se alimenta con mucha voracidad (consume todo tipo de desechos agropecuarios y orgánicos de la industria), produce enormes cantidades de humus y de carne de lombriz, presenta falta de sangrado al producirse un corte en su cuerpo lo que la hace totalmente inmune al medio contaminado en el cual vive, su elevada capacidad de regeneración de sus tejidos, entre otras razones (Barbado, 2004; Moreno y Moral, 2008 ).

### **2.2.2 Morfología.**

La longitud corporal media de la lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*) es de 60-120 mm y su diámetro de 3-6 mm, presenta segmentos que varían de 80 a 120, posee clitelo en forma de silla de montar (Figura 2.1), su color es rojizo, sin embargo al nacer es blanca y a los 5 o 6 días obtiene su color final (Moreno y Moral, 2008).



**Figura 2.1.** Lombrices de diferentes edades. a) Lombriz pequeña, b) Lombriz juvenil y c) Lombriz en estado de reproducción (García y Solano, 2005).

### **2.2.3 Ciclo de vida.**

Las lombrices son hermafroditas, mas no se autofecundan, por lo cual es necesario la copula. Se acoplan dos lombrices cada 7 días, de los cual se obtiene entre 1 y 2 capsulas. Las capsulas o cocones son huevos en forma de pera de



color amarillento de unos 2.3 a 4.4 mm, de los cuales emergen de 2 a 4 lombricillas después de un periodo de incubación de 14 a 21 días, si las condiciones del medio son óptimas. Las nuevas lombrices alcanzan su madurez sexual entre 40 y 70 días después de su nacimiento (Moreno y Moral, 2008).

#### **2.2.4 Hábitat y condiciones cultivo.**

Las lombrices habitan en los primeros 50 cm del suelo, lo cual hace que sea muy susceptible a los cambios climáticos. Es fotofóbica, lo que quiere decir que los rayos ultravioletas pueden perjudicarla gravemente (Barbado, 2004).

Las condiciones que necesita la lombriz para su desarrollo son de una humedad óptima del 85%, pero puede vivir entre 50 y 90% de humedad, esta es importante para la respiración de las lombrices, ya que el intercambio gaseoso ocurre a través de la epidermis húmeda; la temperatura del suelo afecta la actividad, metabolismo, crecimiento y reproducción de las lombrices, esta debe de ser entre 10 y 35 °C, siendo la óptima de 25 °C. La aireación es importante para un buen funcionamiento de la vermicomposta; las concentraciones de oxígeno deben de estar entre 55 y 65 %. El pH óptimo para la lombriz es el neutro, mas tolera valores entre 5 y 9; fuera de este rango la lombriz entra en una etapa de latencia y si el pH es ácido puede desarrollar una plaga llamada "planaria". Concentraciones elevadas de sales pueden inhibir el desarrollo y reproducción de las lombrices. Conductividades del sustrato superiores a 8 dS m<sup>-1</sup> son letales. Los niveles de amonio por encima del 0.5 mg g<sup>-1</sup> en el sustrato son tóxicos para las lombrices. Se aconseja utilizar materiales orgánicos con relación C/N con valores entre 20 y 30 (Moreno y Moral, 2008).

La lombriz cava túneles en el suelo blando y húmedo, succiona la tierra con la faringe evaginada o bulbo musculoso. De la tierra digiere las partículas vegetales o animales en descomposición y expulsa la tierra por el ano en la superficie. Los excrementos de lombriz contienen cinco veces más nitrógeno, siete veces más fósforo, cinco veces más potasio, dos veces más calcio, que el material orgánico que han ingerido (Barbado, 2004).

### **2.2.5 Lombrices utilizadas en la producción de humus.**

Otras lombrices utilizadas en la descomposición de materia orgánica son las siguientes:

La lombriz roja californiana (*Eisenia andrei*) es una de las lombrices más eficientes para la biodegradación de residuos orgánicos y una de las más comúnmente utilizadas. En nivel morfológico es muy parecida a *Eisenia fetida*, incluso se consideraban una única especie con dos formas cromáticas. Es de color rojo oscuro sin bandas. Es más productiva que *Eisenia fetida* en medio de cultivos controlados, sin embargo tiene una menor capacidad de adaptación (Moreno y Moral, 2008).

La lombriz roja africana (*Fudrillus ssp.*) que es de color rojo oscuro. Su clitelo se encuentra más adelantado y su cola es redonda y de color blanquecino. Mide de 15 a 20 cm. No es muy resistente a condiciones adversas, y cuando no se encuentra en su medio adecuado, emigra o muere. En condiciones óptimas se reproduce más rápido que la lombriz californiana y genera más abono (Barbado, 2004).

La lombriz Oriental de las compostas (*Perionyx excavatus*) es en extremo prolífica y aparentemente es más fácil de manejar que *Eisenia fetida*, ya que la extracción del lecho es mucho más rápida. Su principal desventaja para ser usada en su inhabilidad para soportar temperaturas por debajo de 5 °C, pero en condiciones tropicales es una especie excelente para lombricultura (García y Solano, 2005).

La lombriz gigante Africana (*Eudrilus eugeniae*) es una lombriz de gran tamaño de color rojo oscuro, puede llegar a medir entre 15 y 20 cm. de longitud, crece muy rápido, es bastante prolifera y su tasa de reproducción es superior a *Eisenia fetida* cuando las condiciones del hábitat son óptimas. Producen gran cantidad de abono, sin embargo ante situaciones adversas no son muy resistentes y mueren o emigran. Es la especie ideal para la producción de carne de lombriz en cultivo (García y Solano, 2005).

### **2.3 Sistema de tratamiento de los desechos orgánicos antes del compostaje.**

García y Solano (2005) nombran fase de almacenamiento y fermentación al tratamiento que se le da a los restos orgánicos que tiene como objetivo permitir la maduración de los desechos orgánicos, evitar el incremento excesivo de la temperatura dentro del sistema de lombricompostaje y evitar la reducción del pH. El objetivo de estas metodologías es que el alimento se estabilice en un pH de 5 a 8, con una humedad de 70 a 80% y una temperatura media de 20 a 25 °C.

El tiempo de fermentación está relacionado con el tipo de material utilizado, la cantidad a fermentar y el clima. En las distintas fases del proceso de compostaje las semillas y organismos patógenos son eliminados, la riqueza microbiológica favorable para los procesos de descomposición se restablece y los residuos orgánicos quedan enriquecidos con esta microbiota. Si los materiales de partida contienen gérmenes patógenos, existe una alta probabilidad de que algunos organismos sean pasivamente transferidos al humus. Esto mejora la calidad del alimento que se suministra a la lombriz y se garantiza la calidad de la producción de humus y lombriz (García y Solano, 2005).

### **2.4 Norma Oficial Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008.**

La norma mexicana que establece las especificaciones de calidad que debe cumplir el humus de lombriz que se produce o se comercializa en territorio nacional es la NMX-FF-109-SCFI-2008 "Humus de lombriz (lombricomposta) – especificaciones y métodos de prueba". Esta norma no incluye el humus de lombriz en presentación líquida.

Se designa como humus de lombriz, única y exclusivamente al material orgánico resultante de la crianza de lombrices alimentadas con residuos orgánicos, con olor y color característico, que cumple con las especificaciones de calidad descritas en la presente norma mexicana (Cuadro 2.1, 2.2 y 2.3) (NMX-FF-109-SCFI-2008. "Humus de lombriz (lombricomposta)-Especificaciones y métodos de prueba", 2008).

**Cuadro 2.1.** Especificaciones sensoriales de la Norma Oficial Mexicana  
NMX-FF-109-SCFI-2008.

<b>ESPECIFICACIÓN</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
Color	Todos los colores entre el negro a café oscuro, de acuerdo a la tabla de colores Munsell.
Olor	A tierra húmeda, ausente de olores pestilentes.

**Cuadro 2.2.** Grados de calidad para el humus de lombriz de la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008.

<b>ATRIBUTOS</b>	<b>EXTRA</b>	<b>PRIMERA</b>	<b>SEGUNDA</b>
Material mineral extraño (% sobre materia seca p/p)	De 0,0 a 1,5%	De 1,51 a 3,0 %	3,1 a 5,0%
Material orgánico no digerido por las lombrices (% sobre materia seca p/p)	De 0 a 3,0%	De 3,1 a 6,0%	De 6,1 a 10.0%
Material inerte (% Vidrio, metales, plásticos, etcétera).	<0,5 %	De 0,51 a 1,0%	De 1,01 a 1,5%
Semillas viables (semillas L-1)	≤1	>1 - ≤1,5	>1,5 - ≤2
Lombrices vivas (lombrices L-1)	< 0,2 (una por cada 5 L)	0,2 (una por cada 5 L)	0,4 (dos por cada 5 L)

Nota: (p/p) es peso sobre peso.

**Cuadro 2.3.** Especificaciones fisicoquímicas del humus de lombriz (lombricomposta) de la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008.

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>VALOR</b>
Nitrógeno total	De 1 a 4% (base seca)
Materia orgánica	De 20% a 50%(base seca)
Relación C/N	≤20
Humedad	De 20 a 40% (sobre materia húmeda)
pH	de 5,5 a 8,53
Conductividad eléctrica	≤ 4 dS m <sup>-1</sup>
Capacidad de intercambio catiónico	> 40 cmol kg <sup>-1</sup>
Densidad aparente sobre materia seca (peso volumétrico)	0,40 a 0,90 g mL <sup>-1</sup>
Materiales adicionados	Ausente

En todos los grados de calidad, el producto debe cumplir con las especificaciones microbiológicas establecidas en las correspondientes Normas Oficiales Mexicanas emanadas de la Secretaría de Salud vigentes para *Salmonella* y *Escherichia coli* (Cuadro 2.4) (NMX-FF-109-SCFI-2008. "Humus de lombriz (lombricomposta)-Especificaciones y métodos de prueba", 2008).

**Cuadro 2.4.** Límites máximos permisibles para especificaciones microbiológicas de la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008.

<b>MICROORGANISMO</b>	<b>TOLERANCIA</b>
<i>Escherichia coli</i>	≤ 1000 NMP por g en base seca
<i>Salmonella</i> spp	3 NMP en 4 g, en base seca

En donde: NMP = Número más probable

## **2.5 Compostaje de residuos orgánicos.**

El compostaje es un proceso biológico de transformación y valorización de sustratos orgánicos en un producto estabilizado, higienizado, parecido a tierra vegetal, y rica en sustancias húmicas. El compostaje es un tratamiento denominado "natural" y tan antiguo como la agricultura (Moreno y Moral, 2008).

El proceso de compostaje comprende tres fase en el proceso de descomposición aeróbica: fase mesófila inicial, en la cual la temperatura es menos a 45° C; fase termófila que es cuando la composta alcanza temperaturas mayores a los 45°C; y la fase mesófila final, conocida también como segunda fase mesófila y fase de enfriamiento, que es cuando se alcanza de nuevo la temperatura inicial. Estas tres fases comprenden una fase global llamada fase bio-oxidativa o de crecimiento activo de microorganismos. Después de la fase bio-oxidativa se lleva a cabo la fase de maduración en la que la actividad microbiana no es primordial y los nutrientes están limitados (Moreno y Moral, 2008).

Las variables que se observan durante el proceso de compostaje según Moreno y Moral (2008) son:

### **2.5.1 Temperatura.**

La temperatura es la variable que más afecta a la actividad microbiana. Las temperaturas óptimas esperadas se encuentran entre 45 y 59 °C. Temperaturas menores a 20 °C frenan la descomposición de los materiales y mayores a 59 °C inhiben gran parte de los microorganismos y provoca su eliminación, lo que reduce la tasa de descomposición microbiana. Sin embargo hay parásitos que necesitan temperaturas superiores a los 59 °C para su eliminación, como es el *Plasmodiophora brassicae* (54-70 °C) y el virus del mosaico del tomate (47-92 °C).

### **2.5.2 Potencial de hidrógeno (pH).**

El potencial de hidrógeno es un indicador indirecto de la aireación de la mezcla, ya que en condiciones anaeróbicas, se liberan ácidos orgánicos los cuales provocan su descenso. El pH durante el compostaje varía según la fase en la que se encuentre; durante la fase mesófila inicial el pH disminuye, en la termófila se alcaliniza y en la mesófila final se neutraliza

. El pH al final del proceso deberá comprender entre el 7 y 8.

### **2.5.3 Conductividad eléctrica (CE).**

La conductividad eléctrica está determinada por las características del material de partida. La CE tiende a aumentar durante el proceso de compostaje debido a la mineralización de la materia orgánica. Cuando ocurre un descenso de la CE se debe a fenómenos de lixiviación en masa, provocado por una humedad excesiva.

### **2.5.4 Humedad.**

El contenido de agua es imprescindible para las necesidades fisiológicas de los microorganismos, ya que es el medio de transporte de las sustancias solubles que sirven de alimento a las células y de los productos de desecho de las reacciones. La humedad en la composta no debe de ocupar totalmente los poros del sustrato, para que permita la circulación de oxígeno y otros gases. La humedad óptima para el crecimiento microbiano está entre el 50-70%. Cuando la

humedad esta debajo del 30% la actividad biológica decrece y cuando esta sobre el 70% se reduce la transferencia de oxigeno produciendo una anaerobiosis.

## **2.6 Nutrimientos de las plantas.**

Alcántar y Trejo (2007) enlistan las principales funciones de los nutrimentos en las plantas superiores:

**Nitrógeno:** Importante componente de todas las proteínas y acido nucleicos. Está presente en coenzimas, nucleótidos, amidas, ureidos y en la clorofila entre otros.

**Fósforo:** Forma parte de los ácidos nucleicos y participa en la síntesis de proteínas. Como constituyentes del ATP y muchas coenzimas. Interviene en todos los procesos metabólicos de transferencia de energía.

**Potasio:** Es activador o cofactor de más de 50 enzimas del metabolismo de carbohidratos y proteínas. Participa en el equilibrio iónico y en la regulación osmótica.

**Calcio:** Es importante en la división celular y en la estabilidad de membrana y pared celular. Asociado con proteínas, cumple funciones de mensajero secundario.

**Magnesio:** Participa como cofactor o activador de muchas funciones enzimática. Se asocia al ATP en la transferencia de energía y es componente de la clorofila.

**Hierro:** Es componente de muchas enzimas y juega un papel importante de transferencia de electrones, como en los citocromos, en las cadenas de transporte electrónico.

**Manganeso:** Es constituyente de algunas enzimas y activador de descarboxilasas y deshidrogenasas de la respiración. Canaliza la liberación de oxígeno en la fotólisis del agua.

Zinc: Componente esencial y activador de numerosas enzimas. Es necesario para la biosíntesis de la clorofila y ácido indolacético.

Cobre: Componente y activador de muchas enzimas, principalmente SOD y componente de la plastocianina.

## **2.7 Criterios para la dosificación de lombricomposta como fertilizante.**

Es importante mencionar que además de la posibilidad de los efectos químicos positivos de la adición de la lombricomposta al suelo, puede haber también problemas de contaminación y toxicidad (Moreno y Moral, 2008).

Por lo anterior se recomienda dosificar la aplicación del abono; Salgado y Núñez (2010) describen la metodología utilizada por el Sistema Integrado para Recomendar Dosis de Fertilizantes (SIRDF) para generar la dosis de fertilización de acuerdo a los diferentes tipos de suelos, donde las etapas son: estudio agrológico, muestreo de suelo para caracterizar la fertilidad, caracterización climática, determinar la demanda de nutrientes para un rendimiento esperado y determinación de la dosis de fertilización.

Existen varios criterios para el cálculo de la dosis de compost a aplicar, las cuales son: balance de nutrientes, criterio fósforo, criterio materia orgánica, criterio por aspectos geomorfológicos, criterio nitrógeno, criterio metales pesados, criterio sanitario y criterio económico (Moreno y Moral, 2008). El más utilizado es el de nitrógeno, sin embargo es importante que no se exceda en micronutrientes que puedan provocar toxicidades.

Moreno y Moral (2008) recomiendan, salvo en contadas excepciones, no utilizar el compost como sustrato, debido a la escasa capacidad de aireación, lo que provoca que sea muy asfixiante para el cultivo y la elevada salinidad del compost, lo que provoca elevadas CE.



### III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

#### **3.1 Objetivo general.**

Evaluar la calidad del humus de lombriz utilizando diversos sustratos, composteados y sin compostear, como alimento de la lombriz.

#### **3.2 Objetivos particulares.**

- Evaluar la reproducción de la lombriz utilizando diferentes sustratos y composteo (composteadado y sin compostear).
- Evaluar en los diferentes tratamientos de humus de lombriz las especificaciones y el grado de calidad según la norma oficial NMX-FF-109-SCFI-2008.
- Determinar las cantidades de calcio, magnesio, potasio, fosforo, hierro, cobre, zinc y manganeso del humus de lombriz, de cada tratamiento.

#### **3.3 Hipótesis.**

El uso de sustratos pre-composteados como alimento para la lombriz (*Eisenia fetida*) mejora la calidad del humus de acuerdo a la norma NMX-FF-109-SCFI-2008.

## IV. METODOLOGÍA

### 4.1 Localización del área de estudio.

El experimento se ubicó en el Área de compostaje del Campus Amazcala, Facultad de Ingeniería, de la Universidad Autónoma de Querétaro, en los meses de julio a octubre de 2013 (Figura 4.1).



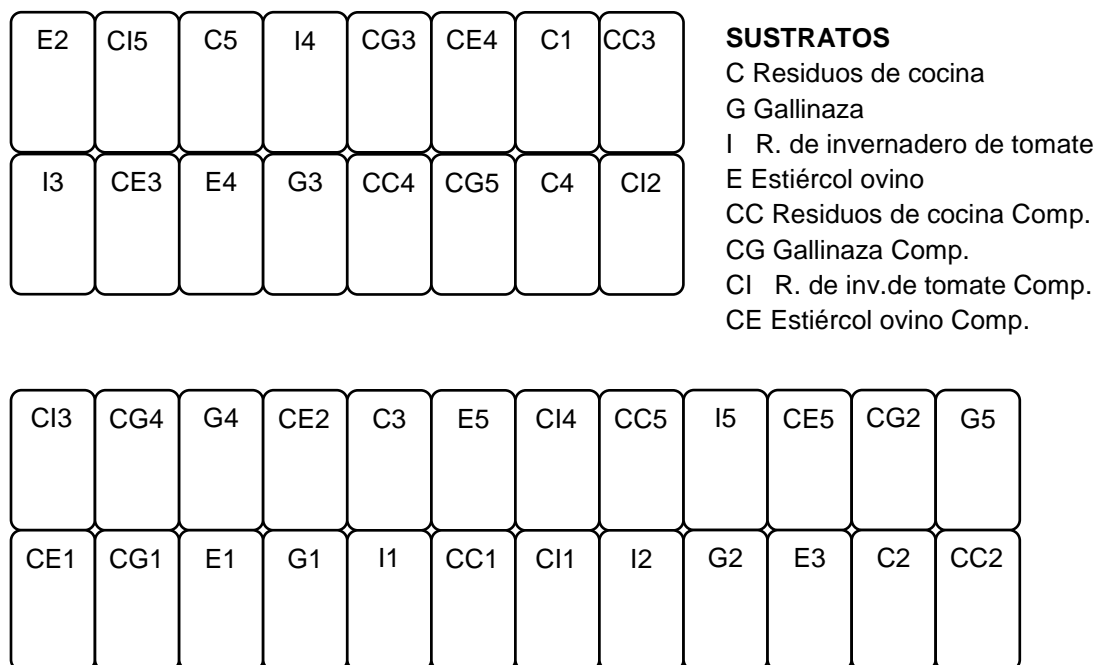
**Figura 4.1.** a) Área de compostaje y b) Área de lombricompostas.

### 4.2 Diseño de experimento.

Se estableció un diseño experimental completamente al azar, que consistió en inocular 20 lombrices (*Eisenia fetida*) adultos  $L^{-1}$  (Durán y Enríquez, 2007) en cajas de plástico de 0.70 x 0.38 x 0.30 m. (largo, ancho y alto), con 6.65 L de sustrato. La unidad experimental fue una caja con lombrices inoculadas. Las variables a evaluar fueron: tipo de sustrato (residuos de invernadero de tomate, residuos de cocina, estiércol ovino y gallinaza). La otra variable fue manejo o composteo de los sustratos. Los tratamientos quedaron como se muestra en el Cuadro 4.1, con cinco repeticiones para cada tratamiento y su distribución se muestra en la Figura 4.2.

**Cuadro 4.1.** Relación de tratamientos a implementar como alimento para el cultivo de lombriz (*Eisenia fetida*).

TRAT.	SÍMBOLO	TIPO DE SUSTRATO	MANEJO
1	C	Residuos de cocina	Sin compostear
2	G	Gallinaza	Sin compostear
3	I	Residuos de invernadero de tomate	Sin compostear
4	E	Estiércol ovino	Sin compostear
5	CC	Residuos de cocina	Composteados
6	CG	Gallinaza	Composteados
7	CI	Residuos de invernadero de tomate	Composteados
8	CE	Estiércol ovino	Composteados



**Figura 4.2.** Ubicación de cajas de lombricomposta alimentadas con los diferentes sustratos orgánicos.

Los residuos de invernadero de tomate saladett se adquirieron de un invernadero de 2,000 m<sup>2</sup> (invernadero de producción comercial del Campus Amazcala de la UAQ) los cuales son restos de poda, deshierbe y tomates. Los desechos de cocina se obtuvieron de la cocina de la cafetería, que incluyen restos vegetales principalmente de naranja, lechuga, papaya, aguacate, jitomate, cebolla, zanahoria, nopales, perejil, sandía, fresa, entre otros; ambos de la facultad de

Ingeniería, del Campus Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro. El estiércol ovino fresco se obtuvo de los corrales de borregos de la Facultad de Ciencias Naturales, del mismo Campus. Los borregos fueron alimentados con silo de avena, alfalfa y alimento comercial. La gallinaza es de una pequeña granja de gallinas ponedoras ubicada en San Juan del Río, Qro., donde las gallinas fueron alimentadas con granos (maíz, sorgo y trigo) y alimento comercial.

#### **4.3 Compostaje de sustratos.**

Para los tratamientos de sustratos composteados, en primer lugar se separaron los materiales indeseables, como son piedras, pedazos de plástico, etc. Se molieron los residuos de cocina y de invernadero de tomate en un molino modelo MAA-000637, marca Edison Maquinaria, Mecanizaciones Agropecuarias Azteca, S.A. de C.V a un tamaño de 7 cm.

Se apilaron los sustratos por separado, en montones con un volumen inicial de 0.5 m<sup>3</sup>. Se voltearon de manera manual y humedecieron una vez por semana. El proceso de composteo tuvo una duración de ocho semanas. A la séptima semana se inoculó levadura a las cuatro compostas para acelerar el proceso de descomposición aumentando su calidad nutricional y biológica. Se hizo una mezcla de 200 gr de levadura de pan, 200 gr de piloncillo y 20 litros de agua tibia (Montes, 2011). Se dejó reposar una noche para su activación y se roció sobre las compostas humedeciendo y volteando.

Se registró la temperatura los primeros 16 días de manera manual con termómetro aprueba de agua modelo HI 145-20, marca Hanna Instruments, introduciéndolo directamente en el sustrato. De los cuales, los dos primeros días se registró la temperatura cada hora de las 07:00 a las 19:00 hr, y los siguientes días una vez diaria.

En el día 17, se instalaron cuatro sensores de temperatura WQ101 Global Water Instrumentation, Inc., conectados a una tarjeta de memoria, los cuáles midieron la temperatura de manera continua cada minuto.

Al inicio y al final del compostaje se midió el pH y CE en una suspensión de 10 g de sustrato por 50 mL de agua destilada, molida y agitada durante 20 minutos con parrilla con agitador Barnstead Thermolyne, modelo SP 131325, marca CIMAREC, introduciendo en la mezcla potenciómetro marca Conductronic PC 28, el cual cuenta con rangos de pH de 2.00 a 16.00 y CE de 0.1 a 19.990 uS en 3 rangos.

Los resultados se analizaron por medio del paquete Statgraphics Centurion XV versión 15.2.06. Se realizó un análisis de varianza de error estándar (ANOVA) para observar si existen diferencias entre datos iniciales y finales con una confianza del 95%.

#### **4.3.1 Calibración de sensores de temperatura.**

La calibración de los sensores de temperatura WQ101 Global Water Instrumentation, Inc., se llevó a cabo introduciéndolos en un recipiente con agua a 6.5 °C, se calentó el agua de manera gradual hasta que alcanzó los 50 °C. En promedio cada 0.5 °C se midió el voltaje de cada sensor. Con los datos obtenidos se ajustó linealmente cada sensor mediante una fórmula o modelo de respuesta lineal, la cual se introdujo al Programa para Fitomonitor desarrollado en la UAQ adecuado a sensores de temperatura WQ101 Global Water Instrumentation, Inc.

#### **4.4 Lombricomposta.**

##### **4.4.1 Prueba de inoculación.**

La lombricomposta se instaló en cajas de plástico de 0.70 x 0.38 x 0.30 m. (largo, ancho y alto), con desagüe, y se ubicaron en un lugar techado para protegerlas del sol y de la lluvia. Las cajas se llenarán con 2.5 cm. (6.65 L) de sustrato humedecido, solo los tratamientos sin compostear, en cinco repeticiones. Se sembraron 20 lombrices L<sup>-1</sup>, 133 lombrices adulto (*Eisenia fetida*) por caja, pesándolas para que la biomasa sea similar en todas las cajas. Se contaron manualmente sacándolas del sustrato, colocándolas en cada caja directamente sobre el sustrato.

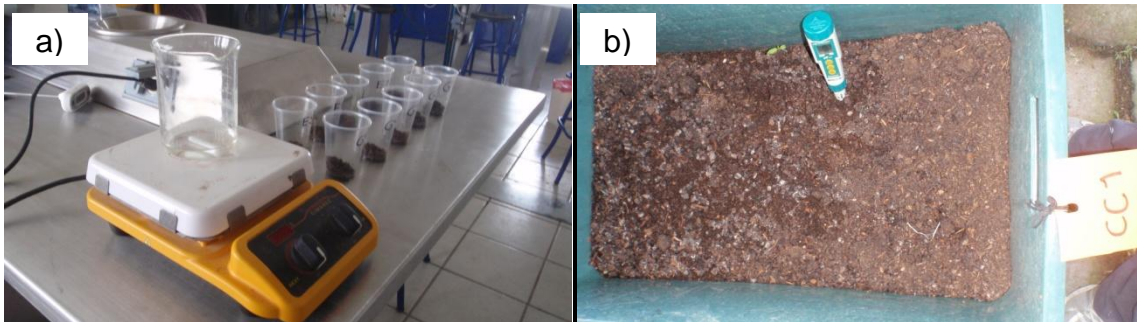
Se midió al inicio a los sustratos la temperatura, pH y conductividad eléctrica. La temperatura se midió con termómetro aprueba de agua HI 145-20, Hanna instruments introduciendo directamente en el sustrato. En una suspensión de 10 g de sustrato por 50 mL de agua destilada, molida y agitada durante 20 minutos con parrilla con agitador Barnstead Thermolyne, modelo SP 131325, marca CIMAREC, se midió el pH y la conductividad eléctrica con potenciómetro Conductronic PC 28.

#### **4.4.2 Inoculación de lombrices.**

La lombricomposta se instaló en cajas de plástico de 0.70 x 0.38 x 0.30 m. (largo, ancho y alto), con desagüe, y se ubicaron en un lugar techado para protegerlas del sol y de la lluvia. Las cajas se llenarán con 5 cm. (13.3 L) de humus de lombriz donde se sembraron 20 lombrices L<sup>-1</sup>, 266 lombrices adulto (*Eisenia fetida*) por caja, pesándolas para que la biomasa sea similar en todas las cajas. Se contaron manualmente sacándolas del sustrato, colocándolas en cada caja en el sustrato. Se alimentaran las lombrices con 1 cm (2.66 L) de sustrato humedecido según el tratamiento, en cinco repeticiones. Se aplicaron las siguientes capas de sustrato del mismo tamaño según la velocidad de alimentación de las lombrices.

Se midió al inicio a los sustratos el pH y conductividad eléctrica en una suspensión de 10 g de sustrato por 50 mL de agua destilada, molida y agitada durante 20 minutos con parrilla con agitador Barnstead Thermolyne, modelo SP 131325, marca CIMAREC (Figura 4.3 a), con potenciómetro Conductronic PC 28 (NMX-FF-109-SCFI-2008. "Humus de lombriz (lombricomposta)-Especificaciones y métodos de prueba", 2008).

Cada semana, durante nueve semanas, se midió directamente de las cajas la temperatura y pH con medidor manual de pH FieldScout SoilStik pH Meter, marca Spectrum Technologies, Inc. (Figura 4.3 b)



**Figura 4.3.** a) Parrilla con agitador Barnstead Thermolyne, modelo SP 131325, marca CIMAREC y b) medidor manual de pH FieldScout SoilStik pH Meter, marca Spectrum Technologies, Inc.

Al final del experimento se tomó una muestra dividiendo el área de cada caja en doce partes iguales, se enumeró cada parte y al azar se tomó todo el humus hasta el fondo de la parte que corresponda. De esta muestra se tomó un litro de humus donde se cuantificó manualmente la densidad de lombrices juveniles y adultas y el número de cocones. Se pesaron las lombrices jóvenes y adultas juntas en una balanza, con el fin de obtener la biomasa total.

Los resultados se analizaron por medio del paquete Statgraphics Centurion XV versión 15.2.06. Se realizó un análisis de varianza de error estándar (ANOVA) para observar si existen diferencias entre datos iniciales y finales con una confianza del 95%.

#### **4.5 Humus de lombriz.**

Se tomó una muestra de humus de lombriz de cada caja, se tamizó con una malla de 5 mm, se mezcló por partes iguales de cada repetición para obtener una mezcla por tratamiento para evaluar las siguientes características, las cuales se analizaron y se determinó si cumple con lo establecido en la norma NMX-FF-109-SCFI-2008 “Humus de lombriz (lombricomposta) – especificaciones y métodos de prueba”.

#### **4.5.1 Determinación de especificaciones sensoriales.**

Se llevó a cabo un panel de 20 especialistas (alumnos de licenciatura y postgrado y profesores de la Facultad de Ingeniería de la UAQ) donde a cada uno se le proporcionó medio litro de humus de cada tratamiento, una hoja de encuesta y la Tabla de Colores de Munsell.

En la encuesta se le preguntaba el olor que percibía de las muestras de humus (tierra húmeda y ausente de olores pestilentes) donde debía de contestar “sí” o “no”. Así mismo debían determinar el color, que con la Tabla de Colores de Munsell, debían señalar la clave del color que más se le pareciera a la muestra.

Con los datos de los especialistas se sacó el porcentaje de personas que respondieron si a la determinaciones referentes al olor. Y se seleccionó el nombre del color que el mayor número de especialistas señaló para cada tratamiento.

#### **4.5.2 Determinación del grado de calidad analizando los atributos.**

Se analizaron los siguientes atributos de todos los tratamientos y se determinó a que grado de calidad pertenece cada humus de lombriz según la norma NMX-FF-109-SCFI-2008 “Humus de lombriz (lombricomposta) – especificaciones y métodos de prueba”.

a) Material mineral extraño (% sobre materia seca p/p).

El material mineral extraño es todo aquel material que se añade o adiciona al producto y que no proviene de la descomposición natural de la materia orgánica procesada.

Se secó un litro de muestra de cada tratamiento en horno de secado con circulación forzada Riossa, modelo HCF-41 a  $70 \pm 5$  °C por 72 horas, hasta obtener un peso constante. Del material secado se separaron manualmente los materiales minerales (gravas, piedras) y se estimaron proporciones según el peso, para compararlos con los criterios establecidos por la norma.



b) Material orgánico no digerido por las lombrices (% sobre materia seca p/p).

Se secó un litro de muestra de cada tratamiento en horno de secado con circulación forzada Riossa, modelo HCF-41 a  $70\pm 5$  °C por 72 horas, hasta obtener un peso constante. Del material secado se separaron manualmente los materiales no digeridos por las lombrices y se estimaron proporciones según el peso, para compararlos con los criterios establecidos por la norma.

c) Material inerte (% Vidrio, metales, plásticos, etc.).

Se secó un litro de muestra de cada tratamiento en horno de secado con circulación forzada Riossa, modelo HCF-41 a  $70\pm 5$  °C por 72 horas, hasta obtener un peso constante. Del material secado se separaron manualmente materiales extraños (plásticos, vidrios, metales) y se estimaron proporciones según su peso, para compararlos con los criterios establecidos por la norma.

d) Semillas viables (semillas L-1).

Un indicativo de calidad es la ausencia total o bajo rango de presencia de semillas viables de plantas, ya que el humus de lombriz puede contener semillas viables de malezas o plantas indeseables que sobrevivan al proceso de lombricompostaje y transformación orgánica o se incorporen al producto antes de su empaque, provenientes del ambiente. (NMX-FF-109-SCFI-2008. "Humus de lombriz (lombricomposta)-Especificaciones y métodos de prueba", 2008)

Se midió tomando un litro de humus de lombriz de cada tratamiento, se colocaron en charolas esparciendo la muestra para que quede con una altura de dos centímetros. Se colocaron las charolas en la cámara de germinación por siete días. Después de dicho tiempo se contaron las semillas germinadas emergidas del sustrato.

e) Lombrices vivas (lombrices L-1).

En un litro de muestra de cada tratamiento, previamente tamizada en una malla de 5 mm, se contó manualmente el número de lombrices, para obtener el dato de número de lombrices en un litro de humus.

#### **4.5.3 Análisis de las especificaciones fisicoquímicas.**

a) Determinaciones de laboratorio.

Se analizaron las siguientes características para determinar si se encuentran dentro de los valores de la norma, donde señala que todos los grados de calidad de humus de lombriz deben de cumplir con las especificaciones fisicoquímicas.

Se tomó una muestra de 120 g de cada repetición previamente tamizada con malla de 5mm, se juntaron en una sola muestra por tratamiento de 600 g. Se mandó analizar al Laboratorio de Nutrición Vegetal, S.C. (Fertilab) en Celaya, Gto., donde se determinaron las especificaciones del Cuadro 4.2.

**Cuadro 4.2.** Determinaciones fisicoquímicas y métodos.

<b>DETERMINACIÓN</b>	<b>MÉTODO</b>
Nitrógeno Total	Kjeldahl
Materia Orgánica	Calcinación
Relación C/N	Base Seca
Humedad	Método Gravimétrico
Capacidad de Intercambio Catiónico	Digestión Húmeda / AA
Densidad Aparente	Método de la probeta

El pH y la conductividad eléctrica se analizaron en el campus Amazcala de la siguiente manera:

b) pH.

El pH del humus de lombriz se midió en una suspensión acuosa de una mezcla de relación humus de lombriz: agua destilada o desionizada, 1:5. Se pesó en una balanza 10.0 g de muestra de humus de lombriz de cada tratamiento, se le

adiciono 50 mL de agua destilada o desionizada, se agito durante 20 minutos en parrilla con agitador Barnstead Thermolyne, modelo SP 131325, marca CIMAREC.

Transcurrido el tiempo de agitación se introdujo el potenciómetro Conductronic PC 28 en la suspensión, se estabilizó y se registró a medición.

c) Conductividad eléctrica.

En la misma mezcla de humus de lombriz- agua destilada que se utilizó para medir el pH, se introdujo el potenciómetro Conductronic PC 28 en la suspensión, se estabilizó y se registró la medición.

#### **4.5.4 Análisis de especificaciones microbiológicas.**

Se tomó una muestra de 30g de cada repetición previamente tamizada con malla de 5 mm, se juntaran en una sola muestra por tratamiento de 150g. Se mandaran analizar a la Unidad de Servicios Químicos de la facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro, donde se analizarán las especificaciones microbiológicas (Cuadro 4.3) determinando si cumple con lo mínimo establecido en la norma NMX-FF-109-SCFI-2008.

**Cuadro 4.3.** Análisis de especificaciones microbiológicas para humus de lombriz según la NMX-FF-109-SCFI-2008.

<b>MICROORGANISMO</b>	<b>MÉTODO</b>
<i>Escherichia coli</i>	Número más probable
<i>Salmonella spp</i>	Número más probable

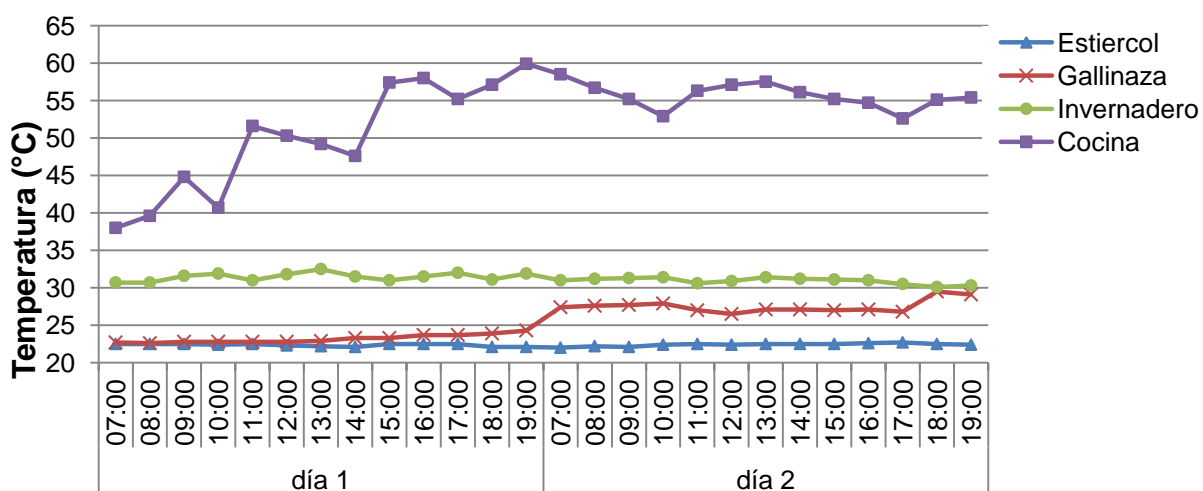
#### **4.5.5 Determinación de fertilidad.**

Se determinaron las cantidades de los siguientes elementos: calcio, magnesio, potasio, fosforo, hierro, cobre, zinc, manganeso, sodio de la muestra mandada al Laboratorio de Nutrición Vegetal, S.C. (Fertilab) en Celaya, Guanajuato.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Compostaje de sustratos.

Los primeros dos días se observó un incremento en la temperatura de la composta de desechos de cocina (de 38.0 °C a 58.5 °C). La composta de gallinaza solo incremento 6.9°C la temperatura, mientras que los desechos de invernadero y estiércol mantuvieron una temperatura constante, como se muestra en la Figura 5.1. Los desechos de cocina registraron una temperatura inicial de 38 °C y alcanzaron una temperatura máxima al final del primer día de 59.9 °C, y el segundo día la temperatura se mantuvo sobre los 52 °C, lo cual concuerda con lo mencionado por Montes (2011), que aproximadamente después de 14 horas de haber preparado la composta, debe presentar temperaturas que superan fácilmente los 50 °C, lo que garantiza la eliminación de los patógenos y la inhabilitación de semillas. La composta de gallinaza inició con una temperatura de 22.7 °C alcanzando una temperatura máxima de 29.5 °C. Los desechos de invernadero mantuvieron una temperatura entre los 30.1 y 32.5 °C. La composta de estiércol ovino se mantuvo entre 22.0 y 22.7 °C durante los dos primeros días.

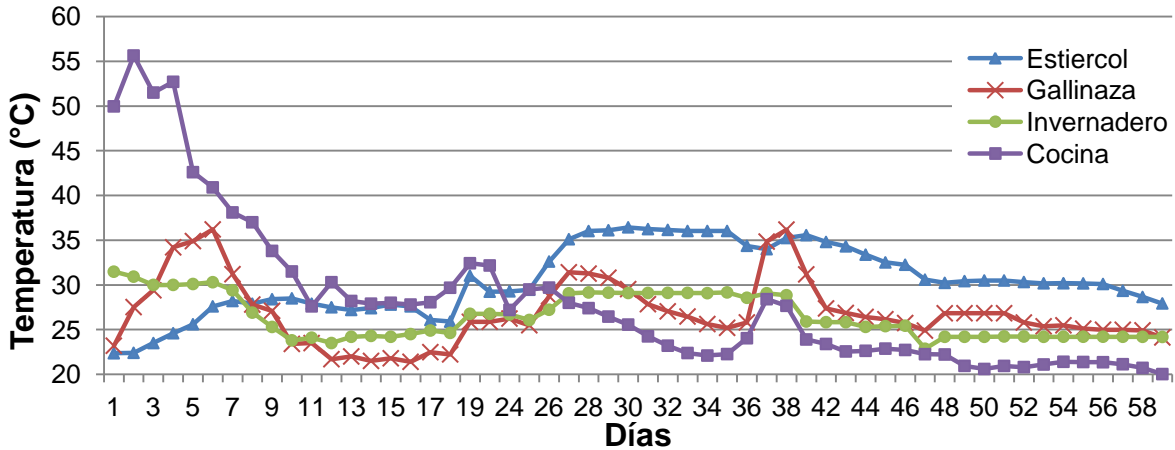


**Figura 5.1.** Temperatura de los primeros dos días de compostaje de los cuatro sustratos orgánicos.

Durante la primera semana, las compostas de desecho de cocina y gallinaza muestran un incremento de la temperatura. Siendo los desechos de cocina los únicos que alcanzan temperaturas superiores a los 45 °C por un lapso de cuatro días, después desciende. Los desechos de gallinaza tienen dos picos de temperatura sobre los 35 °C, seguidos de un descenso de temperatura. La composta de estiércol sube lentamente de temperatura hasta alcanzar su máxima de 36.44 °C en la semana 5, descendiendo lentamente. Los desechos de invernadero se mantuvieron en un rango de 22.6 a 31.48 °C (Figura 5.2).

Las compostas de estiércol, gallinaza e invernadero no alcanzan la fase termófila (temperatura mayores a 45°C) lo que se puede deber a la falta de oxígeno, al exceso o escases de humedad y/o al volumen o masa de la pila (Montes, 2011). Los desechos de invernadero pueden tener una relación C/N demasiado alta; la cual cuando es mayor de 40 los microorganismos demoran mucho en descomponer los residuos por carecer de nitrógeno disminuyendo el rendimiento de compostaje (Bueno, 2006).

Al inocular la levadura a la séptima semana del proceso de compostaje, se observa en la Figura 5.2, al día 47 de iniciado el compostaje, que antes de esa fecha la tendencia en las cuatro compostas es el descenso de temperatura, pero a partir de ese día, la composta de la gallinaza aumenta su temperatura de 24.89 a 26.84 °C donde se mantiene cuatro días y desciende de temperatura de manera más lenta que como lo venía haciendo. En las tres compostas restantes no se elevó la temperatura más se mantuvo constante durante varios días antes de descender nuevamente. Lo anterior se apega parcialmente a lo mencionado por Montes (2011) donde dice que la inoculación de levaduras aceleran el proceso de la fermentación durante los dos primeros días, sin embargo como la temperatura decrecía de manera constante para el día de la aplicación, se notó solo en la composta de gallinaza el aumento de temperatura, y en las otras en la temperatura constante durante unos días.



**Figura 5.2.** Temperatura promedio diaria de las compostas de cuatro sustratos orgánicos.

El pH se elevó en todas las compostas a las ocho semanas de montado el experimento, presentando valores finales de ente 8.70 (gallinaza) a 9.56 (estiércol), datos mostrados en Cuadro 5.1. Moreno y Moral (2008) señalan que el pH varía según la etapa en que se encuentre el proceso, donde el pH se alcaliniza en la fase termófila. Señala que durante el inicio de la fase termófila, debido a la utilización microbiana de los ácidos orgánicos, la proteólisis y la mineralización del nitrógeno con liberación de amoníaco conducen a un incremento gradual del pH hasta alcanzar valores en torno a 8.5. Después de que el pH alcanza estos valores tiende a estabilizarse en valores cercanos a la neutralidad. Debido a que los valores de pH son superiores a 8.5 en los cuatro casos, esto señala claramente la falta de madurez del producto.

La conductividad eléctrica (CE) del sustrato se elevó en todas las compostas a las ocho semanas respecto a la inicial como se muestra en el Cuadro 5.1. La composta de estiércol mostro una CE de  $6.73 \text{ dS m}^{-1}$ , siendo la más baja de las cuatro. Seguida por la de gallinaza,  $7.96 \text{ dS m}^{-1}$  y la composta de desechos de cocina,  $14 \text{ dS m}^{-1}$ . La composta que mosto mayor CE fue la de desechos de invernadero con valores superiores a los  $19.99 \text{ dS m}^{-1}$ . Esta elevación de CE concuerda con Moreno y Moral (2008), que dicen que la CE aumenta debido a la mineralización de la materia orgánica, lo cual aumenta la concentración de

nutrientes. De igual manera coincide con lo experimentado por Velasco-Velasco y colaboradores (2004), donde su material inicial (estiércol y paja) mostro una CE de 8.21 dS m<sup>-1</sup> y las compostas finales en sus dos tratamientos, aireación forzada y manual, tuvieron CE de 9.43 y 12.57 dS m<sup>-1</sup> respectivamente.

**Cuadro 5.1.** pH y CE del inicio y el final del proceso de compostaje.

COMPOSTA	pH		CE (dS m <sup>-1</sup> )	
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
Cocina	6.68 <sup>b</sup>	9.47 <sup>a</sup>	6.68 <sup>b</sup>	14 <sup>a</sup>
Gallinaza	7.59 <sup>b</sup>	8.70 <sup>a</sup>	4.14 <sup>b</sup>	7.96 <sup>a</sup>
Invernadero	6.08 <sup>b</sup>	8.88 <sup>a</sup>	6.21 <sup>b</sup>	>19.99 <sup>a</sup>
Estiércol	8.84 <sup>b</sup>	9.56 <sup>a</sup>	6.14 <sup>b</sup>	6.73 <sup>a</sup>

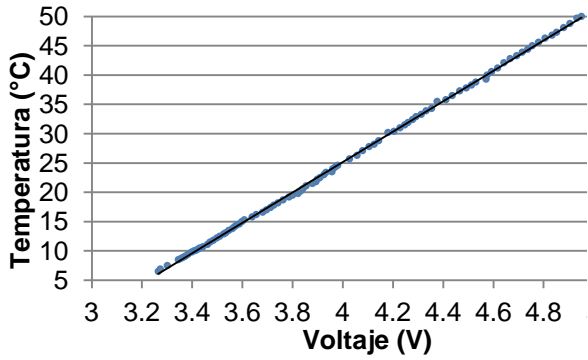
### **5.1.1 Calibración de sensores de temperatura.**

Los cuatro sensores de temperatura WQ101 Global Water Instrumentation, Inc., mostraron voltajes diferentes a las mismas temperaturas (Figura 5.3), por lo cual, con los datos obtenidos se ajustó linealmente cada sensor mediante una fórmula o modelo de respuesta lineal, las cuales se muestran en el Cuadro 5.2.

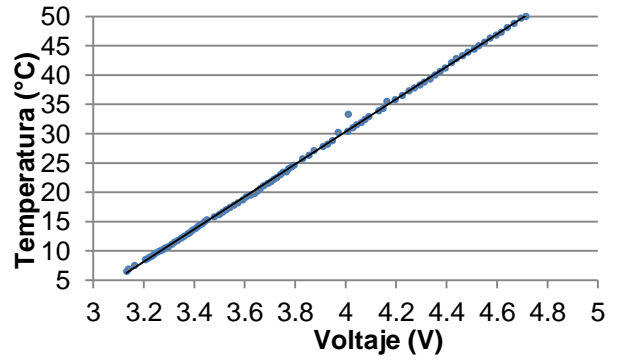
La bondad de ajuste se calculó por el coeficiente R-cuadrado (Cuadro 5.2), donde la menor precisión se observó en el sensor de invernadero 0.9993 y la mayor fue en el sensor de cocina con un valor de 0.9997.

En la Figura 5.3, se puede observar que la línea de ajuste se aproxima mucho a todos los puntos muestreados de temperatura. En el sensor de invernadero (Figura 5.3 c) se aproximan casi todos los valores a la línea de ajuste, sin embargo uno de los valores sale notablemente de la tendencia además de que este sensor presenta el coeficiente R-cuadrado de menor precisión.

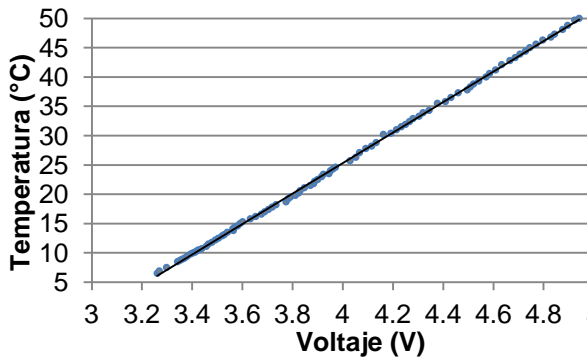
La precisión señalada en el manual de los sensores de temperatura es de ±0.1 °C, lo cual concuerda con lo obtenido en los valores de R-cuadrada, por lo tanto para esta aplicación el grado de ajuste es aceptable.



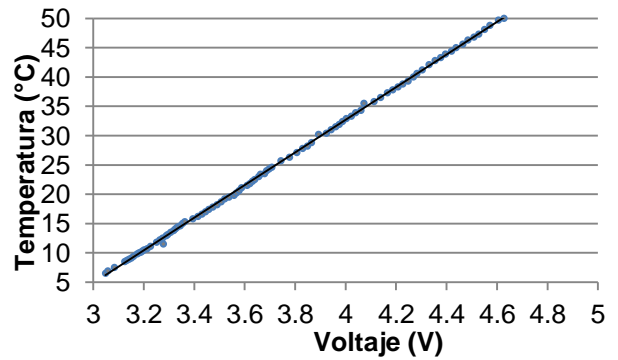
a) Sensor de temperatura en sustrato de estiércol ovino.



c) Sensor de temperatura en sustrato de desechos de invernadero.



b) Sensor de temperatura en sustrato de gallinaza.



d) Sensor de temperatura en sustrato de desechos de cocina.

**Figura 5.3.** Voltaje de los sensores de temperatura.

**Cuadro 5.2.** Formulas empleadas para el ajuste y coeficiente R-cuadrado de los sensores de temperatura de las compostas.

SENSOR	FORMULA	R-CUADRADO
Estiércol	$TE = 25.94 * \left( \frac{(5.0 * VE)}{4096} \right) - 78.61$	0.9996
Gallinaza	$TG = 26.02 * \left( \frac{(5.0 * VG)}{4096} \right) - 78.73$	0.9996
Invernadero	$TI = 27.75 * \left( \frac{(5.0 * VI)}{4096} \right) - 80.69$	0.9993
Cocina	$TC = 27.85 * \left( \frac{(5.0 * VC)}{4096} \right) - 78.72$	0.9997

Donde: T= temperatura y V=voltaje.



## **5.2 Lombricomposta.**

### **5.2.1 Prueba de Inoculación.**

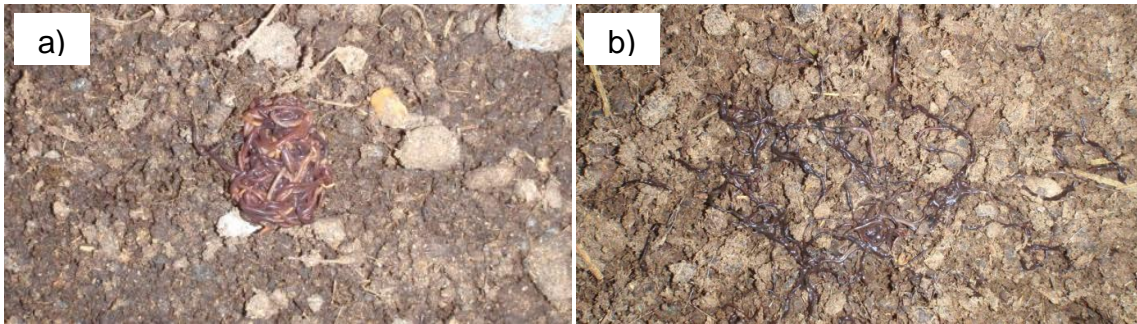
El peso de la biomasa para el inoculo de 133 lombrices adultos en los cuatro tratamientos fue de 14 g. El Cuadro 5.3 muestra que el pH de los sustratos se encuentra dentro de los parámetros que resiste la lombriz, entre 5 y 9 (Moreno y Moral, 2008). El pH más bajo fue de 6.08, correspondiente a los desechos de invernadero; el más alto fue de 8.84 del estiércol ovino. La CE varía entre 4.14 y 6.68 dS m<sup>-1</sup>, siendo la más baja la de gallinaza, seguida de estiércol ovino, desechos de invernadero y de cocina. Estos rangos se encuentran por debajo del letal para la lombriz, que es de 9 dS m<sup>-1</sup> (Moreno y Moral, 2008). La temperatura promedio en las cajas va de los 21.87 a los 23.50 °C, las cuales son aceptables para las lombrices (10-35 °C) (Moreno y Moral, 2008).

**Cuadro 5.3.** Temperatura, pH y CE de los sustratos en las cajas de las lombricompostas.

<b>TRATAMIENTO</b>	<b>TEMPERATURA (°C)</b>	<b>pH</b>	<b>CE (dS m-1)</b>
Cocina	22.83	6.68	6.68
Gallinaza	23.50	7.59	4.14
Invernadero	21.87	6.08	6.21
Estiércol	22.93	8.84	6.14

A pesar de que los valores de temperatura, pH y CE son aceptables para el cultivo de la lombriz, al día siguiente murieron el 100% de los individuos en los sustratos de gallinaza y estiércol ovino sin estas haberse introducido en los desechos (Figura 5.4 b), y a la semana murieron el 100 % de las lombrices en los desechos de invernadero y de cocina. Lo anterior concuerda con lo reportado por Gutiérrez y colaboradores (2007), donde al evaluar la dinámica poblacional de la lombriz californiana en estiércol composteado y fresco de bovino y ovino, en sus tratamientos sin compostear se murieron la totalidad de las lombrices al tercer día de montado el experimento. Esto se puede atribuir al manejo de las lombrices, las

cuales estuvieron expuestas al viento durante un tiempo prolongado lo cual las afectó, disminuyendo su capacidad de adaptación. Además de lo que recomienda García y Solano (2005), no mezclar el lecho con el sustrato, y que cuando se introducen las lombrices en el sustrato, este debe de estar descompuesto casi en su totalidad y estar en la etapa de maduración de compostaje.



**Figura 5.4.** a) Lombrices inoculadas directamente en el sustrato y b) lombrices muertas al segundo día sobre el sustrato de estiércol ovino.

### **5.2.2 Inoculación de lombrices.**

Se inocularon las lombrices en humus con pH 8.73 y C.E. de 2.34 dS m<sup>-1</sup> por lo cual se adaptaron de manera satisfactoria, ya que entran en los rangos aceptables mencionados por Moreno y Moral (2008), para el pH entre 5 y 9 y C.E. menores a 8 dS m<sup>-1</sup>, y el sustrato estaba descompuesto en su totalidad (García y Solano, 2005).

El pH de los sustratos con los que se alimentaron las lombrices va del 4.5, perteneciente a los desechos de cocina y 9.56 de estiércol composteado. En el Cuadro 5.4 se observa el pH inicial del sustrato con los que se alimentó a las lombrices y el del humus final que se analizó. En todos los casos el pH final es mayor al inicial. El pH final más alto pertenece a los desechos de cocina composteados (9.98) y el más bajo a la gallinaza (8.49). En la investigación de Hernández-Rodríguez y colaboradores (2012), donde se inoculó *Eisenia fetida* en cuatro mezclas de aserrín con hojarasca, estiércol bovino, estiércol de conejo y estiércol ovino, a la semana 16 los valores de pH oscilaron entre 8.16 a 9.44 incrementando su valor al inicial de la vermicomposta, lo cual se lo atribuyen a la

ingestión de residuos orgánicos descompuestos por las lombrices de tierra, que se mastican con la molleja y después se pasan al esófago donde las glándulas calcáreas se encuentran con la función de la excreción de carbonato de calcio para neutralizar los ácidos orgánicos de la comida.

La CE inicial es muy variada, con el valor mínimo de desechos de cocina de 2.69 dS m<sup>-1</sup> y un valor máximo mayor a 19.99 dS m<sup>-1</sup> de desechos de invernadero composteado. La CE del humus final es menor a la del sustrato inicial (Cuadro 5.4), lo mismo se observa en el experimento de Santamaría-Romero y colaboradores (2001) donde se vermicomposteo una mezcla de estiércol de conejo y podas de jardín, y el CE inicial fue de 8.5 y la obtenida da la semana 16 fue de 8.0 dS m<sup>-1</sup>, de igual manera, valor muy por encima de lo que señala la norma. Majlessi y colaboradores (2012) señalan que este descenso en la CE es probablemente debido a la liberación de sales solubles como el amonio y fosfato, como resultado de la descomposición de sustratos orgánicos fácilmente biodegradables.

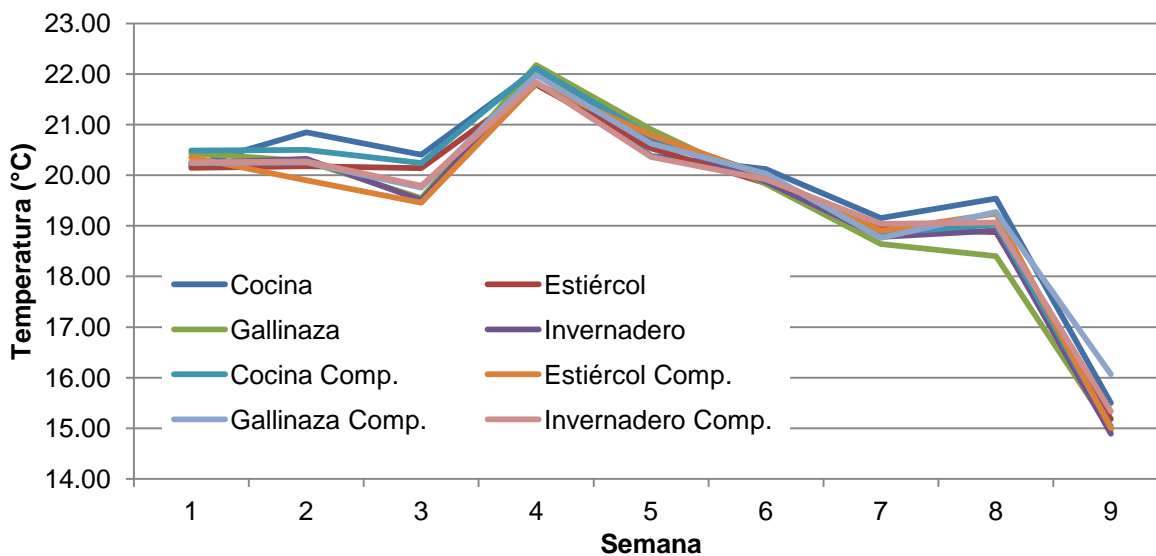
**Cuadro 5.4.** pH y CE al inicio y final del lombricompostaje de cuatro sustratos orgánicos composteados y sin compostear.

TRAT.	pH		CE	
	INICIAL (SUSTRATO)	FINAL (HUMUS)	INICIAL (SUSTRATO)	FINAL (HUMUS)
Cocina	4.50	9.83	2.69	2.47
Gallinaza	8.06	8.49	7.92	3.09
Invernadero	5.81	9.41	18.80	1.98
Estiércol	8.02	9.92	9.96	2.28
Cocina Comp.	9.47	9.98	14.00	4.03
Gallinaza Comp.	8.70	8.80	7.96	3.56
Invernadero Comp.	8.88	8.95	> 19.99	10.52
Estiércol Comp.	9.56	9.76	6.73	3.36

*Comp.: Composteado.*

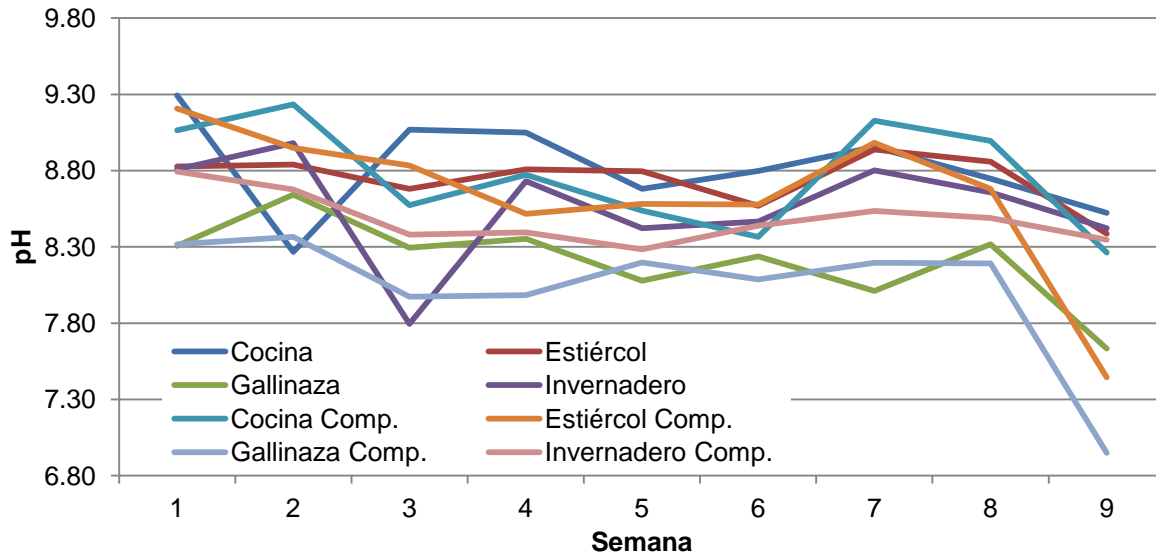
En la Figura 5.5, se observa que la temperatura en el sustrato durante las nueve semanas se mantuvo entre los 14.89 y 22.17 °C, la cual es inferior a la optima de 25°C, sin embargo es aceptable, ya que esta entre los 10 y 35 °C que señalan Moreno y Moral (2008). La temperatura varia semana a semana con la

temperatura ambiental, observándose un comportamiento parecido en todos los tratamientos.



**Figura 5.5.** Temperatura durante el proceso de lombricompostaje de diferentes sustratos orgánicos composteados y sin compostear.

El pH en las lombricompostas varia cada semana en cada tratamiento, por lo que no se observa una tendencia. Presenta valores de pH entre 6.95 y 9.29 (Figura 5.6). Esto se puede deber a que se alimentaron las lombrices según lo iban requiriendo, por lo que el grado de descomposición del sustrato era diferente cada semana.



**Figura 5.6.** pH durante el proceso de lombricompostaje de diferentes sustratos orgánicos composteados y sin compostear.

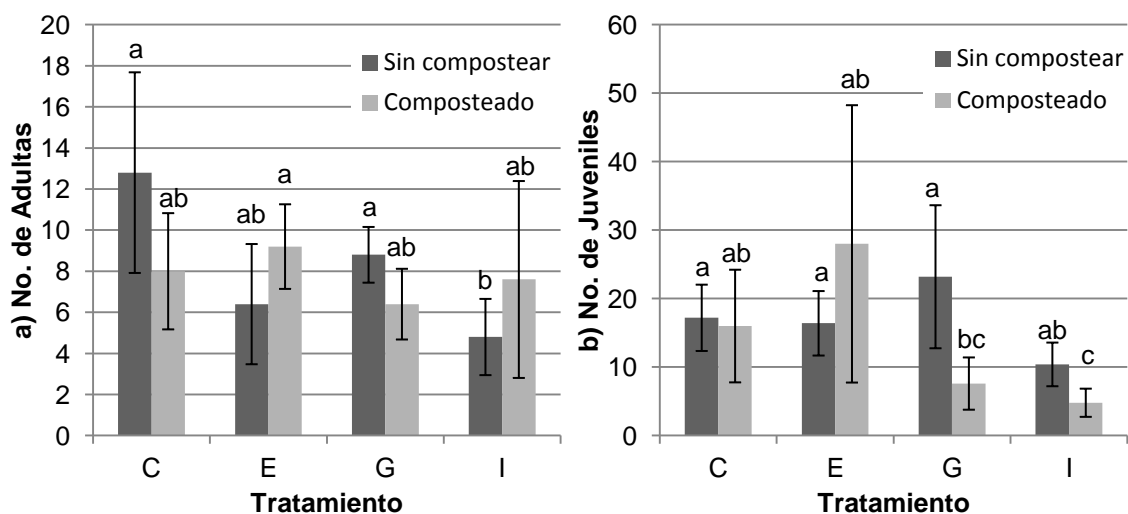
En la figura 5.7 a) se observa que la densidad de lombrices disminuyó de la inicial (20 lombrices adulto  $L^{-1}$ ), siendo la media más alta la de desechos de cocina con 12.8 lombrices adulto  $L^{-1}$  y la más baja la de desechos de invernadero con 4.8 lombrices adulto  $L^{-1}$ . En el experimento realizado por Durán y Henríquez (2009) observaron que al día 90 de inocular las lombrices, la población de desechos domésticos tuvo un decremento de la población inicial, lo cual se presenta en esta investigación. Sin embargo el estiércol vacuno presenta un incremento en la población de 2,296%, lo cual no se presentó en esta investigación, donde el estiércol ovino de 20 individuos baja a 6.4. Sin embargo en el trabajo realizado por Gutiérrez y colaboradores (2007), su población de *Eisenia fetida* al tercer mes tuvo un decremento en sus tratamientos de estiércol bovino y ovino composteado. Reduciendo su población en el ovino en un 18.25%.

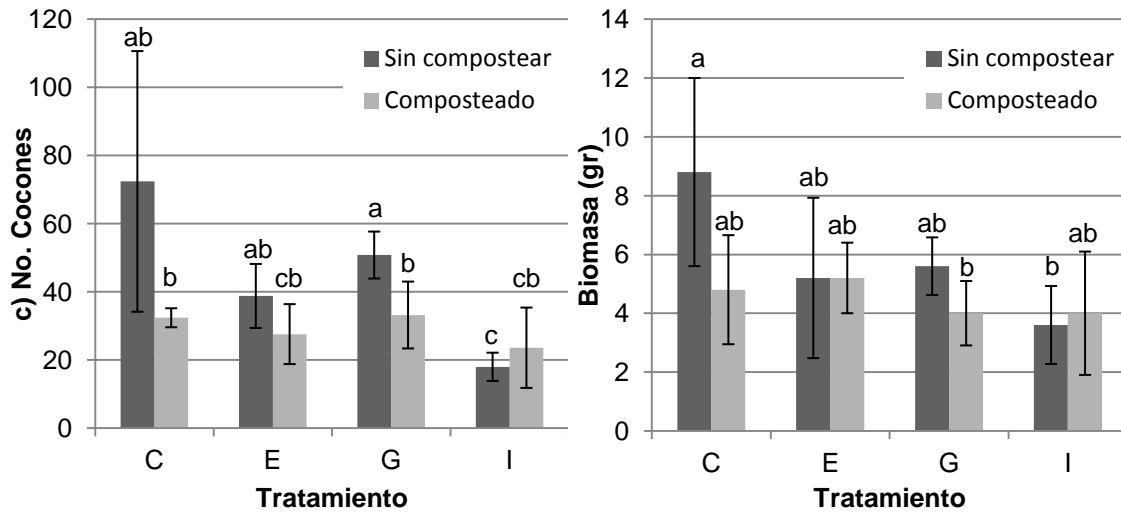
No se inocularon lombrices jóvenes al inicio del experimento, lo que demuestra que las lombrices se reprodujeron. Se puede observar en la Figura 5.7 b que el tratamiento que presentó el mayor número fue el estiércol composteado con 28, sin embargo este no presenta diferencias significativas más que con el tratamiento Cl. Solo se encuentran diferencias entre los tratamientos con y sin

compostear para la gallinaza y los desechos de invernadero, siendo más altos los tratamientos sin compostear.

El tratamiento que presentó el mayor número de cocones (Figura 5.7 c) fue el de desecho de cocina, con 72.4 presentando diferencias significativas solamente con los desechos de invernadero los cuales presentaron 18 cocones. El único sustrato que presentó diferencias entre sus tratamientos composteados y sin compostear fue la gallinaza, siendo mayor el tratamiento sin compostear.

En la Figura 5.7 d, se muestra que la biomasa total más alta se presentó en los desechos de cocina, que son los que presentaron el mayor número de adultas. Sin embargo este no presenta diferencias más que con los desechos de invernadero y gallinaza composteada. No se presentan diferencias entre tratamientos composteados y sin compostear, de igual manera que no se presentaron en el número de adultas.





**Figura 5.7.** a) Núm. de lombrices adultas, b) Núm. de juveniles, c) Núm. de cocones y d) Biomasa (gr).

Para el número de lombrices adultas, juveniles, cocones y biomasa, por el análisis de varianza (Cuadro 5.5) se puede considerar que no hay diferencias significativas entre tratamientos y entre los sustratos composteados y sin compostear, el valor de F no es mayor al valor de P, por lo tanto se acepta la hipótesis nula. Para el caso de núm. de lombrices adultas, el valor del cuadrado medio del error es mayor que los de tratamiento y bloques, por lo cual se infiere que hay otros factores que provocan la variación. Estos factores que producen la diferencia tan grande entre el número de lombrices adultas pueden ser la ubicación de la muestra tomada en las cajas, ya que se observó que las lombrices se ubicaban en la mayoría de las veces en las orillas de las cajas, por lo cual las muestras tomadas en el centro mostraban menor número que las tomadas de las orillas. Para evitar la variación por factores externos, se podría contar la totalidad de las lombrices en la caja, como lo realizado por Gutiérrez y colaboradores (2007), sin embargo el volumen del sustrato que utilizaron era menor, por lo tanto permitía el conteo total.

**Cuadro 5.5.** Análisis de varianza de dinámica poblacional de las lombrices.

a) Núm. de lombrices adultas

<b>FUENTE DE VARIACIÓN</b>	<b>SUMA DE CUADRADOS</b>	<b>GRADOS DE LIBERTAD</b>	<b>CUADRADO MEDIO</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Tratamiento	18.4	3	6.13	0.84	9.55
Bloque	0.32	1	0.32	0.04	10.13
Error	21.92	3	7.31		
Total	40.64	7			

b) Número de juveniles

<b>FUENTE DE VARIACIÓN</b>	<b>SUMA DE CUADRADOS</b>	<b>GRADOS DE LIBERTAD</b>	<b>CUADRADO MEDIO</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Tratamiento	217.02	3	72.34	1.14	9.55
Bloque	14.58	1	14.58	0.23	10.13
Error	190.78	3	63.59		
Total	422.38	7			

c) Número de cocones

<b>FUENTE DE VARIACIÓN</b>	<b>SUMA DE CUADRADOS</b>	<b>GRADOS DE LIBERTAD</b>	<b>CUADRADO MEDIO</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Tratamiento	1078	3	359.33	2.02	9.55
Bloque	499.28	1	499.28	2.80	10.13
Error	534	3	178.00		
Total	2111.28	7			

d) Biomasa

<b>FUENTE DE VARIACIÓN</b>	<b>SUMA DE CUADRADOS</b>	<b>GRADOS DE LIBERTAD</b>	<b>CUADRADO MEDIO</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Tratamiento	9.34	3	3.11	1.56	9.55
Bloque	3.38	1	3.38	1.70	10.13
Error	5.98	3	1.99		
Total	18.7	7			



### **5.3 Humus de lombriz.**

#### **5.3.1 Determinación de especificaciones sensoriales.**

En el Cuadro 5.6 se observan los resultados de la encuesta a 20 especialistas para la determinación de especificaciones sensoriales (olor y color), donde se observa que en seis de los tratamientos, el 50% los especialistas o más opinan que el humus presenta olor a tierra húmeda, y para los tratamientos con sustratos de residuos de invernadero y estiércol composteado solo el 25 y 35% de los panelistas opinan que huele a tierra húmeda, sin embargo para estos mismos sustratos el 80 y 75%, en ese orden, de los especialistas considera que están ausente de olores pestilentes. Para la ausencia de olores pestilentes todos los tratamientos se encuentran sobre el 60% de los panelistas afirmando la determinación. Siendo el menor la gallinaza con un 60% y los mayores los residuos de invernadero y la gallinaza composteada con el 80% de los panelistas.

Para el color (Cuadro 5.6), la Norma Mexicana señala que el humus debe de tener un color entre el negro y café oscuro. Los sustrato de cocina, gallinaza, y gallinaza composteada presentan color negro, los restos de cocina composteados presentan un color negro y gris rojizo oscuro y los desechos de invernadero composteado, negro, negro rojizo, y gris oscuro, según los especialistas. El estiércol presenta colores de café oscuro y café muy oscuro. Quedando todos los anteriores dentro de lo señalado por la norma. Los humus de invernadero y estiércol composteado presentan un color gris muy oscuro, lo cual no es lo establecido por la norma.

**Cuadro 5.6.** Determinación de especificaciones sensoriales (olor y color) de humus de lombriz de acuerdo a la norma NMX-FF-109-SCFI-2008.

TRAT.	TIERRA HÚMEDA (% especialistas)	OLOR AUSENTE DE OLORES PESTILENTES (% especialistas)	COLOR (Tabla de Colores Munsell)
C	75%	70%	Negro
G	80%	60%	Negro
I	25%*	80%	Gris muy oscuro*
E	50%	75%	Café oscuro, Café muy oscuro
CC	85%	75%	Negro, Gris rojizo oscuro
CG	65%	80%	Negro
CI	90%	65%	Negro, Negro rojizo, Gris oscuro
CE	35%*	75%	Gris muy oscuro*

\* No cumple con lo establecido en la norma NMX-FF-109-SCFI-2008.

### **5.3.2 Determinación del grado de calidad analizando los atributos.**

La norma establece los atributos mínimos para establecer el grado de calidad del humus de lombriz, los cuales para calidad extra son para material mineral extraño de 0.0 a 1.5% sobre materia seca, material orgánico no digerido por las lombrices de 0 a 3.0% sobre materia seca y material inerte menor a 0.5% sobre materia seca. Los ocho tratamientos presentan valores correspondientes a calidad extra en esos atributos, los cuales se pueden observar en el Cuadro 5.7.

Para semillas viables la calidad extra debe de tener menos de 1 semilla L<sup>-1</sup>, lo cual lo cumplen todos los sustratos con cero semillas germinadas, menos el de cocina, que no alcanza la calidad de segunda (1.5 a 2 semillas L<sup>-1</sup>), superándolo en mucho, presentando nueve semillas en emergencia al séptimo día en la cámara de germinación, por lo cual queda fuera de lo establecido por la norma. Los desechos de cocina composteados no presentan ninguna semilla en emergencia lo cual se le puede atribuir al proceso de composteado y coincide con lo señalado por Montes (2011), que menciona que la composta al presentar temperaturas mayores a 50 °C garantiza la inhabilitación de semillas.

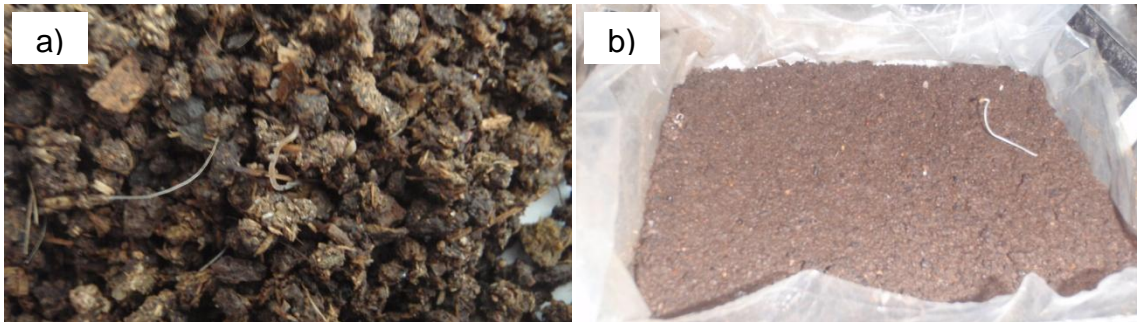
Para la característica de lombrices vivas, la norma señala que todas las calidades deben de presentar menos de 0.4 lombrices L<sup>-1</sup>, lo cual no lo cumple ninguno de los humus analizados, que contienen de 4 a 61 lombrices vivas de menos de 6 días de nacidas, las cuales son de color blanco (Figura 5.8. a). Lo anterior se puede atribuir al tamaño tan reducido de las lombrices, lo que permite que pase por el tamiz de 5 mm y que las muestras no fueran almacenadas, lo que permitió la sobrevivencia de estas.

De los atributos analizados y tomando en cuenta que se puede dar un manejo a la lombricomposta de secado y almacenamiento lo cual permitiría la reducción de las lombrices vivas, el único tratamiento que no cumple con lo establecido en la norma es el de cocina, por el número de semillas viables que presenta. Atendiendo a la observación del manejo que reduzca la cantidad de lombrices vivas, los demás tratamientos entran en grado de calidad extra.

**Cuadro 5.7.** Determinación del grado de calidad analizando los atributos para humus de lombriz de acuerdo a la norma NMX-FF-109-SCFI-2008.

TRAT.	%MME	%MOND	%MI	SV	LV	GRADO DE CALIDAD
C	0.33	0.31	0.00	9*	17*	No cumple
G	0.78	0.26	0.00	0	61*	Extra
I	0.32	0.28	0.01	0	6*	Extra
E	0.43	0.08	0.01	0	11*	Extra
CC	0.65	0.11	0.00	0	15*	Extra
CG	0.36	0.03	0.00	0	4*	Extra
CI	0.18	0.28	0.00	0	12*	Extra
CE	0.56	0.06	0.00	0	5*	Extra

a) MME=Material mineral extraño, b) MOND=Material orgánico no digerido por las lombrices, c) MI=Material inerte, d) SV=Semillas viables (semillas L<sup>-1</sup>), e) LV=Lombrices vivas (lombrices L<sup>-1</sup>) \*No cumple con lo establecido en la norma NMX-FF-109-SCFI-2008.



**Figura 5.8.** a) Lombriz viva y b) semillas viables emergidas en sustrato de cocina.

### **5.3.3 Análisis de las especificaciones fisicoquímicas.**

En el Cuadro 5.8 se muestran los valores de nitrógeno total, los cuales van del 1.14% presentado por el estiércol composteado al 1.42% de los desechos de cocina composteados. Todos los valores entran en los establecidos en la norma mexicana (de 1 a 4%). Los tratamientos de cocina, gallinaza e invernadero composteados presentan valores mayores de nitrógeno total a los sin compostear, y el estiércol se comporta de manera inversa.

Para materia orgánica, todos los tratamientos entran en lo establecido en la norma, de 20% a 50%. El que presentó menos fue el estiércol composteado con 29.6% y los que más fueron el estiércol y los desechos de invernadero composteados con 35.9%.

Para la relación C/N todos los tratamientos cumplen con lo establecido en la norma mexicana ( $\leq 20$ ). El que presenta una menor relación C/N son los desechos de cocina composteados con 14.15 y los que más son el estiércol con 16.77. Los tratamientos composteados presentan valores menores que los sin compostear.

Para la humedad ninguno de los tratamientos cumplen con lo establecido en la norma mexicana (de 20 a 40%), siendo el menor la gallinaza composteada con 43.9% y el mayor el estiércol con 54.5%. Esto se puede corregir con el secado previo al empaque del humus.

En el Cuadro 5.8 se pueden observar los valores finales de pH, los cuales son altos para lo descrito en la norma mexicana (5.5-8.5) y para lo mencionado por García y Solano (2005) que señalan que el pH del lombricompost varía entre el 6.5 y 8. La gallinaza presenta un pH final de 8.49 siendo el único con los valores aceptables para la norma. El sustrato de cocina composteado presenta el mayor pH de 9.98. Lo cual se puede atribuir a la falta de madurez de la lombricomposta, la cual se mantuvo solamente por nueve semanas, y García y Solano (2005) señalan que el periodo de compostaje con los lombrices para zonas templadas es de seis meses.

La CE obtenida en los tratamientos a la semana nueve varía entre 1.98 (desechos de invernadero) y 10.52 dS m<sup>-1</sup> (desechos de invernadero composteado), donde dos sustratos no entran en el valor establecido por la norma ( $\leq 4$  dS m<sup>-1</sup>) los cuales son los desechos de cocina composteado (4.03 dS m<sup>-1</sup>) y los desechos de invernadero composteado mencionados anteriormente. Los tratamientos sin compostear presentan menor CE que los composteados.

El tratamiento que presenta una menor Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) es el de desechos de invernadero composteados con 31.64 cmol kg<sup>-1</sup>, y el que presenta el mayor es el gallinaza composteada con 53.13 cmol kg<sup>-1</sup>. Los únicos tratamientos que cumplen con lo establecido en la norma de  $> 40$  cmol kg<sup>-1</sup> son los desechos de cocina composteados y la gallinaza composteada. Romero y colaboradores (artículo sin publicar) en su investigación donde evaluaron nueve lombricompostas de diversa composición y precedencia, obtuvieron valores de CIC entre 39.4 y 74.2 cmol kg<sup>-1</sup>.

La densidad aparente sobre materia seca para todos los tratamientos es la establecida en la norma mexicana (0,40 a 0,90 g mL<sup>-1</sup>). Siendo la que tiene menos DA el estiércol con 0.47 y el que más los desechos de invernadero con 0.64 g mL<sup>-1</sup>.

**Cuadro 5.8.** Análisis de las especificaciones fisicoquímicas para humus de lombriz de acuerdo a la norma NMX-FF-109-SCFI-2008.

TRAT.	NT %	MO %	C/N	Hum. %	pH	CE dS m <sup>-1</sup>	CIC cmol kg <sup>-1</sup>	DA g/ mL
C	1.29	32.3	14.57	47.0*	9.83*	2.47	39.96*	0.60
G	1.25	33.8	15.68	47.8*	8.49	3.09	36.82*	0.59
I	1.25	34.9	16.16	50.9*	9.41*	1.98	32.90*	0.64
E	1.24	35.9	16.77	54.5*	9.92*	2.28	37.36*	0.47
CC	1.42	34.6	14.15	47.1*	9.98*	4.03*	41.42	0.56
CG	1.30	33.5	14.92	43.9*	8.80*	3.56	53.13	0.59
CI	1.30	35.9	16.00	47.7*	8.95*	10.52*	31.64*	0.49
CE	1.14	29.6	15.09	46.2*	9.76*	3.36	39.96*	0.55

NT=Nitrógeno Total, MO=Materia Orgánica, C/N=Relación C/N, Hum.=Humedad, CIC=Capacidad de Intercambio Catiónico, DA=Densidad Aparente, CE=Conductividad Eléctrica. \*No cumple con lo establecido en la norma NMX-FF-109-SCFI-2008.

### **5.3.4 Análisis de especificaciones microbiológicas**

En el Cuadro 5.9 se pueden observar los resultados de los análisis de especificaciones microbiológicas realizadas en la Unidad de Servicios Químicos de la facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro, donde se muestra que para el caso de *Escherichia coli* la lombricomposta que presentó el valor más alto fue la de desechos de invernadero con 3 NMP/g y las demás lombricompostas presentaron valores de <3 NMP/g. Por lo que cumplen todos los tratamientos con lo especificado en la norma mexicana de ≤ 1000 NMP por g en base seca. En el caso de desechos de invernadero se puede observar que en el tratamiento composteado se presentó menor cantidad de *Escherichia coli*, sin embargo la composta de desechos de invernadero no alcanzó la temperatura de 55 °C necesaria para su eliminación. Aunque no hay diferencia significativa en el número de adultos de lombrices, los tratamientos composteados presentan mayor cantidad, lo que podría explicar el menor valor de *Escherichia coli* en los tratamientos composteados.

Para *Salmonella spp* todos los tratamientos presentan ausencia en 25g, por lo que están en lo establecido por la norma mexicana (3 NMP en 4 g, en base seca). No hay diferencia entre tratamientos.

Kumar y colaboradores (2011) estudiaron la viabilidad de los reactores industriales de vermicomposta para reducir el número de patógenos, utilizando *Eisenia fetida*, alimentando los reactores con 5 sustratos diferentes. Obtuvieron como resultado la disminución en la cantidad de *Salmonella sp* y *Escherichia sp.* al día 90 en todos los tratamientos y la eliminación de *Salmonella sp* en el sustrato de lodos industriales de fábrica de papel y de *Escherichia sp.* en los lodos industriales de fábrica de papel y desechos de industria de procesamiento de vegetales. Esta reducción y eliminación de patógenos se lo atribuyen a que las lombrices liberan fluidos celómicos que tienen propiedades anti-bacterianas que puede destruir los patógenos en los reactores y a que hay algo dentro de los gusanos que destruye los agentes patógenos y hace que sus excrementos estén libres de patógenos.

**Cuadro 5.9.** Análisis de especificaciones microbiológicas

<b>TRATAMIENTO</b>	<b><i>Escherichia coli</i> NMP/g</b>	<b><i>Salmonella spp</i> En 25g</b>
Cocina	<3	Ausencia
Gallinaza	<3	Ausencia
Invernadero	3	Ausencia
Estiércol	<3	Ausencia
Cocina Comp.	<3	Ausencia
Gallinaza Comp.	<3	Ausencia
Invernadero Comp.	<3	Ausencia
Estiércol Comp.	<3	Ausencia

### **5.3.5 Determinación de fertilidad.**

En el Cuadro 5.10 se muestran los resultados del análisis de fertilidad hecho en el Laboratorio de Nutrición Vegetal, S.C. (Fertilab) en Celaya, Guanajuato, los cuales no vienen incluidos en la norma NMX-FF-109-SCFI-2008, sin embargo se ha considerado importante incluirlos en la presente investigación.

Los valores de calcio presentados en las lombricompostas van del 38.5 g kg<sup>-1</sup> perteneciente a el estiércol composteado a 70.6 de los desechos de invernadero composteados. Los intervalos de suficiencia van de 1-10 g kg<sup>-1</sup>, y no es toxico, sin embargo en cantidades muy altas aparecen deficiencias de Mg o K (Alcántar y Trejo, 2007). Durán y Henríquez (2007) en su experimento de vermicompostas de desechos domésticos, estiércol, banano, ornamental y broza, presentan niveles de Ca de 16 a 56 g kg<sup>-1</sup>.

El magnesio analizado en la lombricompostas va de 8.7g kg<sup>-1</sup> presentado por la gallinaza a 12.5 de los desechos de invernadero composteados. Los intervalos de suficiencia son 1-4 g kg<sup>-1</sup> y no es toxico, mas en situaciones extremas puede provocar deficiencias de Ca, K y algunos micronutrientes (Alcántar y Trejo, 2007). Durán y Henríquez (2007) obtuvieron valores de magnesio de 3 a 8 g kg<sup>-1</sup>, menores a los analizados en este experimento.

El potasio reporta valores entre 3.9 g kg<sup>-1</sup> (gallinaza) y 17.1 (desechos de invernadero composteados). Los intervalos de suficiencia son 10-50 g kg<sup>-1</sup>; no presenta toxicidad, sin embargo en exceso puede presentar deficiencias de Mg y Ca, sin embargo este no es el caso, ya que las lombricompostas presentan valores por debajo de los de la suficiencia. Durán y Henríquez (2007) presentaron valores de K de 8 a 68 g kg<sup>-1</sup>.

El fosforo presentado por las lombricompostas va de 42.2 g kg<sup>-1</sup> (Estiércol) a 60.6 (Gallinaza composteada). Los intervalos de suficiencia van de 2-5 g kg<sup>-1</sup>. No presenta toxicidad sin embargo altas concentraciones pueden disminuir el crecimiento por restricción de la absorción y translocación de Zn, Fe y Cu. Los valores de K de este experimento son demasiados altos, lo que se recomienda tener muy en cuenta en su dosificación. Durán y Henríquez (2007) presentan valores menores a los de este experimento, de 13 a 20 g kg<sup>-1</sup>.

El sodio de las vermicompostas va de 0.5 g kg<sup>-1</sup> (Gallinaza composteada) a 6.8 (Desechos de invernadero composteados). Los intervalos de suficiencia van de 10-100 g kg<sup>-1</sup>, no presenta toxicidad según lo mencionado por Alcántar y Trejo (2007).



Las lombricompostas obtuvieron valores de hierro de 6,543 ppm (Desechos de invernadero composteados) a 9,360 (Estiércol). El intervalo de suficiencia va de 50-250 ppm, y no presenta toxicidad, sin embargo valores de 300-400 ppm en tejido vegetal pueden inducir una toxicidad, por lo cual es importante considerar a la hora de calcular las dosis. Durán y Henríquez (2007) presentan valores de Fe de 5,461 a 26,489 ppm en su experimento.

El cobre presente en las lombricompostas va de 49.3 ppm (Estiércol) a 80.4 (Desechos de invernadero). Los valores de suficiencia van de 5-20 ppm, con un nivel de toxicidad mayor a 20 ppm. Todas las lombricompostas presentan valores mayores a los de toxicidad. Durán y Henríquez (2007) presentan en su experimento valores que van de 47 a 105 ppm.

El zinc presentado por las lombricompostas va de 314 ppm (Estiércol composteado) a 505 (Desechos de cocina). El intervalo de suficiencia va de 20-100 ppm y su nivel de toxicidad mayor a 400 ppm. Por lo cual todas las lombricompostas con excepción de estiércol, invernadero composteado y estiércol composteado, presentan valores superiores al tóxico. Durán y Henríquez (2007) en su experimento presentan valores de 255-1,118 ppm.

Los valores de manganeso en las lombricompostas van de 285 ppm (cocina composteada) a 374 (Desechos de invernadero). El intervalo de suficiencia va de 20-300 ppm y su nivel de toxicidad mayor a 300 ppm. Todas las lombricompostas presentan valores superiores al tóxico con excepción de desechos de cocina composteados y estiércol composteado. Durán y Henríquez (2007) en su experimento presentan valores de 218-700 ppm.

Para el cálculo de la dosificación de las lombricompostas es conveniente tomar en cuenta los valores de micronutrientes para que estas no sean tóxicas para los cultivos. La lombricomposta de desechos de invernadero composteado obtuvo los valores más altos de Ca, Mg, K y Na. No hay una tendencia clara de que los sustratos composteados presenten valores más altos o bajos de nutrientes, depende de cada elemento.

**Cuadro 5.10.** Análisis de fertilidad de diferentes sustratos orgánicos composteados y sin compostear.

<b>TRAT.</b>	<b>NT g/kg</b>	<b>Ca g/kg</b>	<b>Mg g/kg</b>	<b>K g/kg</b>	<b>P g/kg</b>	<b>Na g/kg</b>	<b>Fe ppm</b>	<b>Cu ppm</b>	<b>Zn ppm</b>	<b>Mn ppm</b>
C	12.9	45.1	9.7	7.7	56.2	5.1	7,607	70	505	347
G	12.5	58.6	8.7	3.9	52.6	5.6	6,680	65	448	326
I	12.5	46.0	10.7	9.0	57.1	5.9	7,374	80.4	494	374
E	12.4	40.2	9.4	9.9	42.2	5.5	9,360	49.3	321	304
CC	14.2	46.4	10.4	11.7	51.7	5.6	7,669	63.7	457	285
CG	13.0	61.3	10.4	7.2	60.6	0.5	7,482	65.3	489	353
CI	13.0	70.6	12.5	17.1	50.9	6.8	6,543	58.2	330	352
CE	11.4	38.5	8.8	10.1	42.7	5.7	8,540	49.8	314	286
Nivel crítico*	<20	<1	<1	<10	<2	<10	<50	3-5	15-20	10-20
Suficiencia*	20-50	1-10	1-4	10-50	2-5	10-100	50-250	5-20	20-100	20-300
Toxicidad*	No	No	No	No	No	No	No	>20	>400	>300

\* (Bennett, 1994)

## VI. CONCLUSIONES

Para este experimento, en las condiciones antes mencionadas, la falta de incremento de la temperatura en el proceso de compostaje de los sustratos de gallinaza, estiércol y desechos de invernadero pudo haber dependido entre otras cosas de la humedad, aireación, relación C/N y volumen o masa de la pila de las compostas, lo que no garantiza la eliminación de los patógenos y la inhabilitación de semillas viables.

El pH se elevó en los cuatro tratamientos en el proceso de compostaje, lo cual puede ser resultado de la utilización microbiana de los ácidos orgánicos, la proteólisis y la mineralización del nitrógeno. De igual manera se elevó la CE en los cuatro tratamientos, lo cual se puede deber a la mineralización de la materia orgánica, lo cual aumenta la concentración de nutrientes.

La precisión de los sensores de temperatura WQ101 Global Water Instrumentation, Inc., es de  $\pm 0.1$  °C, lo cual se señala en el manual, sin embargo estos se deben de calibrar antes de su uso como lo recomienda el fabricante.

La inseminación de lombrices se recomienda hacer en sustratos descompuestos en su totalidad, ya que al introducirla en sustratos frescos se obtuvo una mortalidad del 100% en la primera semana.

El pH del humus de lombriz se elevó respecto al de los sustratos dados como alimento a las lombrices lo cual se le puede atribuir a la ingestión de residuos orgánicos descompuestos por las lombrices de tierra. La CE bajo en todos los tratamientos, probablemente debido a la liberación de sales solubles.

En todos los tratamientos descendió el número de lombrices adulto e incrementó el número de lombrices jóvenes y cocones. La biomasa está relacionada con el número de lombrices adultos. No hubo diferencia entre tratamientos.

Para las especificaciones sensoriales, los tratamientos de desechos de invernadero y de estiércol compostado no cumplen con lo establecido en la

norma mexicana. Para el atributo de semillas viables, el tratamiento de desechos de cocina presenta nueve, mientras que los demás cero. Lo que si influye el compostaje para este atributo. Para lombrices vivas, todos los tratamientos no cumplen con la norma, sin embargo con técnicas de secado y cribado se puede disminuir este valor, por lo cual con excepción de el tratamiento de desechos de cocina, y tomando las medidas para disminuir el número de lombrices vivas las lombricompostas presentan grado de calidad extra.

En el análisis de especificaciones fisicoquímicas, todos los tratamientos presentan una humedad mayor a la establecida en la norma, lo que se puede corregir con un proceso de secado antes de su empaque. Ningún tratamiento más que el de gallinaza, cumple con el pH establecido en la norma, lo que se le puede atribuir a la falta de madurez. Los tratamientos que no cumplen con la CE establecida en la norma son desechos de cocina composteados y de invernadero composteados, en este caso si son los sustratos composteados los que presentan mayor CE.

Para la CIC, los únicos tratamientos que cumplen con lo establecido en la norma son composteados, desechos de cocina composteados y la gallinaza composteada.

Para la evaluación de fertilidad no se encuentra una tendencia de que los sustratos composteados presenten mas nutrientes que los sin compostear, más bien depende del nutriente y del tratamiento. Hay que tomar en cuenta los valores de fertilidad para la dosificación del fertilizante ya que todas las lombricompostas presentan valores altos de fosforo y micronutrientes, los cuales pueden llegar a ser tóxicos.

Para este experimento, con las condiciones climáticas y manejo antes mencionado se puede concluir que los sustratos pre-composteados como alimento para la lombriz (*Eisenia fetida*) no mejoran la calidad del humus de acuerdo a la norma NMX-FF-109-SCFI-2008.

## LITERATURA CITADA

- Alcántar González, G., & Trejo-Téllez, L. I. (2007). *Nutrición de Cultivos*. México: Mundi Prensa México, S.A. de C.V.
- Barbado, J. L. (2004). *Cria de lombrices* (Primera Edición ed.). Buenos Aires : Editorial Albatros.
- Bennett, W. F. (1994). *Nutrient Deficiencies and Toxicities in Crop Plants*. St. Paul, MN.: The American Phytopathological Society. citado en Alcántar González, G., & Trejo-Téllez, L. I. (2007). *Nutrición de Cultivos*. México: Mundi Prensa México, S.A. de C.V.
- Bueno, M. (2006). *El Huerto Familiar Ecológico, La gran guía práctica del cultivo natural* (5ta. ed.). Integral.
- Dalzell, H., Biddlestone, A., Gray, K., & Thurairajan, K. (1991). Manejo del suelo: producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales. *Boletín de Suelos de la FAO* .
- Durán, L., & Henríquez, C. (2007). Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense* , 41-51.
- Durán, L., & Henríquez, C. (2009). Crecimiento y reproducción de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense* , 33 (2).
- FAO. (2009). La Agricultura mundial en la perspectiva del año 2050. . *Como alimentar al mundo en 2050. Foro de Expertos de Alto Nivel*. Roma.
- García Conde, M. R., & Solano Fajardo, V. (2005). *Cría de la Lombriz de Tierra, Una Alternativa Ecológica y Rentable*. . Bogotá: Fundación Hogares Juveniles Campesinos.

Gómez Tovar, L., & Gómez Cruz, M. Á. (2004). *LA AGRICULTURA ORGÁNICA EN MÉXICO: UN EJEMPLO DE INCORPORACIÓN Y RESISTENCIA A LA GLOBALIZACIÓN*.

Gutiérrez Vázquez, E., Juárez Caratachea, A., Jaime Mondragón, A., & Rojas Sandoval, A. L. (2007). Dinámica poblacional de la lombriz *Eisenia foetida* en estiércol composteado y fresco de bovino y ovino. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria* , VIII (7), 1-8.

Hernández-Rodríguez, O. A., López-Díaz, J. C., Arras-Vota, A. M., Quezada-Solís, J., & Ojeda-Barrios, D. (2012). Calidad de vermicompost obtenido a partir de residuos de la silvicultura y ganadería. *Sustainable Agriculture Research* , 1 (1).

Kumar, R., Kumar Singh, S., & Shweta. (2011). Efecto de las lombrices de tierra en la eliminación de patógenos durante la estabilización de sustancias orgánicas industriales. *Journal of Life Sciences* , 794-800.

Majlessi, M., Eslami, A., Saleh, H. N., Mirshafieean, S., & Babaii, S. (2012). Vermicomposting of food waste: assessing the stability and maturity. *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering* , 9 (25).

*Memorias del II Simposio y I Reunión Nacional Agricultura Sostenible: Un enfoque ecológico, socioeconómico y de desarrollo tecnológico*. (1992). México: Comisión de Estudios Ambientales C.P. e Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.

Montes Silva, A. (2011). *Agricultura Orgánica, Una Alternativa de Producción sostenible y Rentable*.

Moreno Casco, J., & Moral Herrero, R. (2008). *Compostaje*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

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

- Olivares-Campos, M., Hernández-Rodríguez, A., Vences-Contreras, C., Jáquez-Balderrama, J., & Ojeda-Barrios, D. (2012). Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. *Universidad y Ciencia* , 28 (1), 27-37.
- Ongley, E. D. (1997). *Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos*. Roma: Estudio FAO: Riego y drenaje - 55.
- Paredes M., R., Mandujano B., A., Alamilla G., P., Rodríguez M., F., Buenrostro R., J. F., & Jaramillo L., G. (2013). Manejo Integral de Residuos Agropecuarios por medio de Composteo y Lombricomposteo. (G.-M. H., Ed.) *Simposio Regional Día del Productor Ciclo Primavera-Verano. Memoria Técnica No. 6* , 102.
- Prooznia, M. (2007). *Expression Sequence Tags Analysis, Annotation, Toxicogenomics, and Learning Approach*. The University of Southern Mississippi.
- Romero Lima, M. d., Valdovinos Chávez, V., & Padilla Olmedo, M. d. (s.f.). Evaluación de Calidad de Lombricompostas, Comparación con Norma Mexicana. Documento sin publicar.
- Ruel, M. T., & Hawkes, C. (2006). *Hacia una comprensión de los vínculos entre la agricultura y la salud*. Obtenido de INTERNATIONAL FOOD POLICY RESEARCH INSTITUTE: <http://www.ifpri.org/sites/default/files/publications/focus13sp.pdf>
- Salgado García, S., & Núñez Escobar, R. (2010). *Manejo de Fertilizantes Químicos y Orgánicos* (Primera Edición ed.). México: MundiPrensa México, S.A. de C.V.
- Santamaría-Romero, S., Ferrera-Cerrato, R., Almaraz-Suárez, J. J., Galvis-Spinola, A., & Barois-Boullard, I. (2001). Dinámica y Relaciones de Microorganismos, C-Orgánico y N-Total Durante el Composteo y Vermicomposteo. *Agrociencia* , 35 (4), 337-384.

SEMARNAT. (2013). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental* (Edición 2012 ed.). México.

Velasco-Velasco, J., Figueroa-Sandoval, B., Ferrera-Cerrato, R., Trinidad-Santos, A., & Gallegos-Sánchez, J. (2004). CO<sub>2</sub> y dinámica de poblaciones microbianas en composta de estiércol y paja con aireación. *TERRA Latinoamericana* , 22 (3), 307-316.