



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA
EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL MICHOACÁN**



**CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA, BIOLÓGICA Y VALORACIÓN
AGRONÓMICA DEL VERMICOMPOST DE EISENIA FOETIDA OBTENIDO DEL
CONTENIDO RUMINAL DE BOVINO**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN
PRODUCCIÓN AGRÍCOLA SUSTENTABLE**

PRESENTA:

JESÚS EULLOQUE GUERRERO

DIRECTORES DE TESIS:

**M. C. REBECA FLORES MAGALLÓN
DR. GILBERTO VÁZQUEZ GÁLVEZ**

JIQUILPAN, MICHOACÁN, MÉXICO

ENERO DE 2013



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Jiquilpan, Michoacán siendo las 11:00 horas del día 11 del mes de Enero del 2013 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIIDIR Unidad Michoacán para examinar la tesis titulada:

Caracterización física, química, biológica y valoración agronómica del vermicompost de Eisenia foetida obtenido del contenido ruminal de bovino.

Presentada por el alumno:

EULLOQUE

GUERRERO

JESÚS

Apellido paterno

Apellido materno

Nombre

Con registro: B 1 0 1 5 0 3

aspirante de:

Maestría en Ciencias en Producción Agrícola Sustentable

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron APROBAR LA TESIS, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA
Directores de tesis

M.C. Rebeca Flores Magallón.

Dr. Gilberto Vázquez Gálvez.

Dr. Pedro Damián Loeza Lara.

Dr. Luis Fernando Ceja Torres.

Dra. Droselina Álvarez Bernal.

Dr. Guillermo Herrera Arreola.
PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de **Jiquilpan de Juárez Michoacán** el día 7 del mes **Enero** del año **2013**, el que suscribe **Jesús Eulloque Guerrero** alumno del Programa de **Maestría en Ciencias en Producción Agrícola Sustentable** con número de registro **B101503**, adscrito a **C.I.L.D.I.R. I.P.N. Unidad Michoacán**, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de la **M. en C. Rebeca Flores Magallón** y el **Dr. Gilberto Vázquez Gálvez** y cede los derechos del trabajo intitulado **"Caracterización física, química, biológica y valoración agronómica del vermicompost de *Eisenia foetida* obtenido del contenido ruminal de bovino"**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: **Justo Sierra No 28, Colonial Centro, C.P. 59510, Cd. Jiquilpan de Juárez, Michoacán. Tel. 01 (353) 533-00- 83**. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Jesús Eulloque Guerrero

Jesús Eulloque Guerrero

Nombre y firma

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR-IPN), por abrirme sus puertas y brindarme la oportunidad de realizar el presente trabajo de investigación.

Al Programa de becas institucionales del IPN y al Programa Institucional de Formación de Investigadores (PIFI) por el otorgamiento de dichos patrimonios, recurso indispensable para la manutención y estudios en mi formación profesional.

A la M. C. Rebeca Flores Magallón, por su invaluable ayuda, asesoría, su guía en el laboratorio, necesario para la elaboración esta investigación.

Al Dr. Gilberto Vázquez Gálvez, por su apoyo pertinente, su invaluable experiencia, por su guía en el invernadero y asesoría, indispensables para la realización de la presente investigación.

Al Dr. Pedro Damián Loeza Lara, por su apoyo y conocimiento compartido durante mi formación profesional, así como disponibilidad y observaciones realizadas al presente trabajo de investigación.

Al Dr. Luis Fernando Ceja Torres, y Dra. Dioselina Álvarez Bernal por su disponibilidad y sus valiosas correcciones al presente trabajo de investigación.

Al M. C. Salvador Ochoa Estrada por su gran apoyo y conocimiento compartido durante mi formación profesional, y sus invaluable recomendaciones respecto al presente trabajo de investigación.

Al Dr. José Venegas González, por brindarme su amistad, por su amabilidad, permanente disposición y desinteresada ayuda.

A Facundo Ponce Méndez por su gran apoyo, ayuda brindada, imprescindible para la toma de decisiones así como proyectos, y sobre todo por su invaluable amistad.

A Minerva Núñez Sánchez, por su meritoria ayuda y asesoría en laboratorio de alimentos.

Jazmín Medellín Novoa y Alicia Ochoa Navarro, apoyo en el laboratorio central y de suelos.

A Marco Antonio Mejía Acevedo, Baudelio Caja Reyes, Ricardo García Rodríguez e Israel Bekenbaues Morales Arrequín, por su invaluable apoyo en el invernadero.

A Sergio Ramírez y Víctor Hugo Ramos García quienes ayudaron con aportaciones relevantes, además de todos aquellos que de alguna manera contribuyeron con en este trabajo, gracias por su disponibilidad, amistad y calidez humana.

A cada uno de los maestros, que participaron en mi desarrollo profesional durante mi maestría, con ayuda y conocimientos asertivos.

A mis amigos y compañeros de este centro de investigación, que me apoyaron en distintas etapas de la maestría.

A mi hermana Esther, quien con su gran disponibilidad ayudo en el transcurso de esta investigación.

A Reynaldo Cervantes Figueroa, quien con su valiosa ayuda contribuyó en el proceso de este trabajo.

A mis amigos Luis Reyes Zacarías y Luis Manuel Higareda Belío por el apoyo incondicional brindado durante toda una vida académica y personal.

DEDICATORIAS

A Dios por regalarme vida, salud y fortaleza primordialmente, además de permitirme mejorar día a día, superando retos, y dar lo mejor de mí.

A mi papá, quien representa un ejemplo de fortaleza, inteligencia, lucha constante y superación. Un gran hombre al que le debo la vida y mi formación profesional.

A mi mamá, quien representa un ejemplo de perseverancia, inteligencia, prudencia y humildad ante la vida misma. Sus valiosos consejos me ayudaron a superarme y mejorar, a no darme por vencido. Una gran mujer a la que le debo la vida y mi formación profesional. ¡La mejor herencia que pudieron dejarme es la educación, gracias!

De manera directa e indirecta a todos aquellos seres que impactaron en mi formación personal y profesional, con la faena de mejorar y ayudar a quien más lo necesite.

CONTENIDO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. OBJETIVOS | 3 |
| 2.1 GENERAL | 3 |
| 2.2 ESPECÍFICOS | 3 |
| 3. HIPÓTESIS | 4 |
| 4. REVISION DE LITERATURA | 5 |
| 4.1 CONTENIDO RUMINAL DE BOVINO | 5 |
| 4.2 EL CONTENIDO RUMINAL COMO PROBLEMA AMBIENTAL | 6 |
| 4.3 MANEJO DE RESIDUOS ORGÁNICOS | 8 |
| 4.4 LOMBRICULTURA | 10 |
| 4.5 ESPECIES DE INTERÉS PARA LA LOMBRICULTURA | 11 |
| 4.6 EISENIA FOETIDA | 11 |
| 4.7 VERMICOMPOSTEO | 12 |
| 4.8 EL VERMICOMPOST | 15 |
| 4.9 VERMICOMPOST LÍQUIDO | 16 |
| 4.10 CALIDAD DEL VERMICOMPOST | 17 |
| 4.11 IMPORTANCIA DE LA CARACTERIZACIÓN ASOCIADA A LA APLICACIÓN DEL VERMICOMPOST COMO FERTILIZANTE ORGÁNICO | 20 |
| 4.12 EL CULTIVO DE PEPINO | 22 |
| 5. MATERIALES Y MÉTODOS | 27 |
| 5.1 LOCALIZACIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL | 27 |
| 5.2 ETAPA A. CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y BIOLÓGICA DEL VERMICOMPOST OBTENIDO DEL CONTENIDO RUMINAL | 28 |
| 5.2.1 CONSTRUCCIÓN DE LA CAMA PARA VERMICOMPOSTEAR | 28 |
| 5.2.2 MANEJO DE LA CAMA DE VERMICOMPOSTEO | 29 |
| 5.2.3 REGISTRO DE DATOS | 30 |
| 5.2.4 CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA | 30 |
| 5.2.5 CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA | 30 |
| 5.2.6 ÍNDICE DE GERMINACIÓN | 31 |
| 5.3 ETAPA B: VALORACIÓN AGRONÓMICA VERMICOMPOST | 32 |
| 5.3.1 EFECTO DEL VERMICOMPOST SOBRE EL CRECIMIENTO DEL CULTIVO DE PEPINO | 32 |
| 5.3.2 MATERIAL GENÉTICO | 32 |
| 5.3.3 SUELO Y VERMICOMPOST SÓLIDO Y LÍQUIDO UTILIZADO EN EL EXPERIMENTO | 32 |
| 5.3.4 MANEJO DEL CULTIVO | 33 |
| 5.3.5 REGISTRO DE DATOS | 35 |
| 5.3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO | 36 |
| 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 37 |
| 6.1 MANEJO DE LA CAMA DE LA LOMBRIZ | 37 |
| 6.2 PH | 37 |
| 6.3 TEMPERATURA | 38 |
| 6.4 HUMEDAD | 39 |

| | |
|--|----|
| 6.5 REGISTRO DE VARIABLES FÍSICAS, QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DURANTE EL VERMICOMPOSTEO DEL CONTENIDO RUMINAL. | 40 |
| 6.5.1 OLOR, COLOR Y CONSISTENCIA | 40 |
| 6.5.2 CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS DEL CONTENIDO RUMINAL DURANTE EL VERMICOMPOSTEO | 42 |
| 6.5.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICA DEL CONTENIDO RUMINAL DURANTE EL VERMICOMPOSTEO | 45 |
| 6.6 ÍNDICE DE GERMINACIÓN (IG) | 51 |
| 6.7 VALORACIÓN AGRONÓMICA DEL VERMICOMPOST | 53 |
| 6.7.1 EFECTO DEL VERMICOMPOST SÓLIDO SOBRE LAS VARIABLES DE CRECIMIENTO | 53 |
| 6.7.2 EFECTO DEL VERMICOMPOST SÓLIDO SOBRE LOS CONTENIDOS NUTRIMENTALES EN HOJA | 55 |
| 6.7.3 EFECTO DEL VERMICOMPOST SÓLIDO SOBRE EL RENDIMIENTO DE FRUTO | 56 |
| 6.7.4 EFECTO DEL VERMICOMPOST LÍQUIDO SOBRE LAS VARIABLES DE CRECIMIENTO | 57 |
| 6.7.5 EFECTO DEL VERMICOMPOST LÍQUIDO SOBRE LOS CONTENIDOS NUTRIMENTALES EN HOJA | 59 |
| 6.7.6 EFECTO DEL VERMICOMPOST LÍQUIDO SOBRE EL RENDIMIENTO | 61 |
| 7. CONCLUSIONES | 64 |
| 8. PERSPECTIVAS | 65 |
| 9. LITERATURA CITADA | 66 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | | |
|------------|---|----|
| Cuadro 1. | Algunos microorganismos patógenos del sector de salud que corresponden al estiércol de animales y sus fuentes | 7 |
| Cuadro 2. | Características del Vermicompost | 11 |
| Cuadro 3. | Características químicas y físicas de la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007, para humus de lombriz | 19 |
| Cuadro 4. | Efecto de la actividad de la lombriz en nutrientes y desechos orgánicos | 20 |
| Cuadro 5. | Generalidades agronómicas y ambientales del cultivo <i>Cucumis sativus</i> | 23 |
| Cuadro 6. | Superficie cosechada y rendimiento de pepino por entidad federativa | 25 |
| Cuadro 7. | Superficie cosechada y rendimiento de pepino y otros cultivos | 26 |
| Cuadro 8. | Caracterización física y química del suelo, suelo más vermicompost y extracto líquido | 33 |
| Cuadro 9. | Olor, color y consistencia del contenido ruminal durante su vermicomposteo | 41 |
| Cuadro 10. | Caracterización microbiológica del contenido ruminal durante el vermicomposteo | 44 |
| Cuadro 11. | Caracterización física y química del contenido ruminal | 46 |
| Cuadro 12. | Efecto del vermicompost sólido sobre las variables de crecimiento en pepino cv. Carolina | 54 |
| Cuadro 13. | Contenido nutrimental (N, P, K) en hojas de pepino abonado con vermicompost sólido | 55 |
| Cuadro 14. | Efecto del vermicompost líquido sobre las variables de crecimiento en pepino | 58 |
| Cuadro 15. | Contenido de nitrógeno, fósforo y potasio (N, P, K) en hojas de pepino abonado con vermicompost líquido | 60 |
| Cuadro 16. | Correlación del rendimiento de fruto con las variables de crecimiento en pepino | 62 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|-----------|---|----|
| Figura 1. | Diseño de la cama para el proceso de vermicomposteo | 28 |
| Figura 2. | Porcentaje de germinación en semillas de rábano | 32 |
| Figura 3. | Croquis del experimento | 35 |
| Figura 4. | Variación del pH durante el vermicomposteo | 38 |
| Figura 5. | Variación de la temperatura durante el vermicomposteo | 39 |
| Figura 6. | Variación de la humedad durante el vermicomposteo | 40 |
| Figura 7. | Índice de Germinación del contenido ruminal | 52 |
| Figura 8. | Efecto del vermicompost sólido sobre el rendimiento de fruto de pepino | 57 |
| Figura 9. | Efecto del vermicompost líquido sobre el rendimiento de fruto en pepino | 63 |

RESUMEN

En la actualidad el manejo y disposición final de los residuos sólidos generados en los rastros municipales, como el contenido ruminal, son trasladados a rellenos sanitarios, lo cual genera un problema de contaminación ambiental y de salud pública. Por ello en este trabajo se hace un estudio para manejar y reutilizar este residuo, considerando varias etapas metodológicas. Se inició con el vermicomposteo del contenido ruminal el cual se caracterizó desde el punto de vista nutricional y microbiológico para conocer su potencial uso en la agricultura y posteriormente se valoraron sus características, por medio de un ensayo biológico y otro agronómico. En general el vermicompost del contenido ruminal presentó buenas características físicas y químicas, un pH de 7.43, CE de 1.64 dS m⁻¹, densidad aparente de 0.51 g mL⁻¹, capacidad de intercambio catiónico de 142 cmol/kg, relación carbono nitrógeno de 7.22 y contenidos de N, P y K de 1.85%, 0.73% y 0.33%, respectivamente. Con relación a las características microbiológicas, el vermicomposteo del contenido ruminal disminuyó los microorganismos y otros agentes relacionados con enfermedades para humanos como coliformes totales de 2.70 X 10⁵ a un valor de 5.75 x 10⁻¹, mientras que E. coli, Salmonella ssp., Shigella ssp., y huevos de helmintos inicialmente estuvieron presentes y fueron ausentes en el producto vermicompostado. Con relación a la evaluación de la madurez del vermicompost del contenido ruminal, este inició con un índice de germinación de 5.70% y finalizó con un valor de 99.36%. En cuanto a la valoración agronómica, se probaron dos niveles de vermicompost sólido aplicado al suelo (0% y 10%) en el cultivo de pepino variedad Carolina y resultó que la aplicación de vermicompost tuvo una tendencia a incrementar las variables como el contenido de nitrógeno en las hojas, área foliar, tamaño de hoja, altura de planta, peso fresco y seco, variables con las cuales el rendimiento de fruto se correlacionó significativamente ($r > 0.53$, $p < 0.05$). Adicionalmente se evaluó el efecto del extracto o té del vermicompost como una solución nutritiva en variables del crecimiento y rendimiento de pepino variedad Carolina. Los resultados indicaron que este extracto al compararlo con agua, no tuvo efecto significativo sobre el crecimiento y rendimiento de frutos de pepino. En comparación con soluciones nutritivas elaboradas con fertilizantes inorgánicos, el área foliar, tamaño de hoja, altura de planta, peso fresco y el peso seco fueron mayores para las soluciones nutritivas en un 117%, 32%, 25%, 74% y 41%, respectivamente, lo que se tradujo en un rendimiento de fruto casi tres veces mayor para estas soluciones nutritivas.

ABSTRACT

At present, the management and final disposition of solids wastes generated in the municipal slaughterhouses, as rumen contents are transferred to landfills, which create a problem of environmental pollution and public health. Therefore, in this work were made a study to manage and reuse this waste, considering several methodological steps. It began with the rumen contents vermicomposting which was characterized from the point of view of nutrition and microbiology for know their potential use in agriculture and subsequently assessed their characteristics, by means of biological assay and other agronomic. In general the vermicompost of rumen contents presented good physical and chemical characteristics, a pH of 7.43, EC 1.64 dS m⁻¹, apparent density of 0.51 g mL⁻¹, the cation exchange capacity of 142 cmol/kg carbon nitrogen ratio 7.22 and contents of N, P and K of 1.85%, 0.73% and 0.33%, respectively. With respect to microbiological characteristics, vermicomposting content decreased ruminal microorganisms and other agents of human diseases for total coliforms as 2.70 X 10⁵ to a value of 5.75x10⁻¹, while E. coli, Salmonella spp., Shigella ssp., and helminth eggs were present and were initially absent in the product vermicomposteado. With respect to the assessment of the maturity of the rumen contents vermicompost, this started with a germination rate of 5.70% and ended with a value of 99.36%. With regard to the assessment agronomic two levels were tested of vermicompost applied to the soil solid (0% and 10%) in the culture of cucumber variety Carolina and found that the application of vermicompost had a tendency to increase the variables as the nitrogen content on leaves, leaf area, leaf size, plant height, fresh and dry weight, variables with which fruit yield was significantly correlated ($r > 0.53$, $p < 0.05$). Additionally, the effect of vermicompost tea extract or as a nutrient in growth variables and yield of cucumber variety Carolina. The results indicated that this extract when compared to water, had no significant effect on the growth and yield of cucumber fruit. In comparison with nutrient solutions prepared with inorganic fertilizers, leaf area, leaf size, plant height, fresh weight and dry weight were higher in nutrient solutions in 117%, 32%, 25%, 74% and 41%, respectively, which resulted in fruit yield almost three times greater for these nutrient solutions.

1. INTRODUCCIÓN

El tratamiento de desechos orgánicos reviste cada vez más importancia dada la dimensión del problema que representa no solo por el aumento de los volúmenes producidos o por una mayor intensificación de la producción, sino también por la aparición de nuevas enfermedades que afectan a la salud humana y animal que tienen directa relación con el manejo inadecuado y casi nulo aprovechamiento de estos residuos en la industria cárnica, así como en los mataderos, ya que se genera una gran diversidad de microorganismos y gases de sus desechos que generalmente son transportados en camiones para la basura y depositados en tiraderos al aire libre, orillas de ríos y canales de aguas negras.

Entre los desechos orgánicos de la industria cárnica, se encuentra el contenido ruminal, el cual es un producto obtenido del sacrificio de animales en los rastros municipales y constituye el alimento ingerido por los animales poligástricos, no digerido por completo y el cual es desechado en el momento de su sacrificio. En la mayoría de las plantas de sacrificio del país es un problema importante de contaminación ya que es un foco de infección y de riesgo de enfermedades para la población, ya que las moscas e insectos que lo colonizan, se desplazan con facilidad de un lugar a otro y portan patógenos para humanos.

En los rastros municipales de la región noroeste del estado de Michoacán actualmente no se tiene un manejo adecuado de los desechos obtenidos del sacrificio de bovinos, mucho menos del contenido ruminal, por ello, es importante disponer de una metodología para reciclar y aprovechar estos residuos.

Una alternativa de manejo de este residuo es reciclarlo para obtener vermicompost sólido y extractos llamados téis, los cuales tienen un gran potencial económico para incrementar el rendimiento y reducir el ataque de plagas y enfermedades de cultivos agrícolas.

El vermicompost, es el producto de la biodegradación de materiales orgánicos a través de la interacción entre lombrices y microorganismos (Atiyeh et al., 2002). Varios reportes en la literatura lo han señalado como un abono rico en materia orgánica y nutrimentos que mejoran las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo (Marinari et al., 2000; Azarmi et al., 2008), además posee auxinas, ácidos húmicos y fúlvicos, los cuales estimulan los procesos biológicos de la planta (Atiyeh et al., 2002; Canellas, et al., 2002).

El té de vermicompost por su parte, es un extracto en agua que contiene altos niveles de microorganismos benéficos y nutrientes solubles. En los últimos años ha llamado la atención de productores e investigadores debido a que varios experimentos han indicado que la aplicación de extractos de vermicompost mejoran la sanidad de la planta, el rendimiento y la calidad nutritiva (Arancon et al., 2007; Pane et al., 2012; Fayed, 2010; Pant et al., 2009). Los extractos del vermicompost sólido, suministran también biomasa microbiana y materia orgánica en partículas pequeñas, ácidos orgánicos, reguladores de crecimiento y nutrientes minerales tanto a la planta como al suelo (Arancon et al., 2007; Pant et al., 2009; Pane et al., 2012).

El vermicomposteo de estiércoles y otros materiales orgánicos transforma los desperdicios orgánicos en productos útiles, pero con una variabilidad muy grande en cuanto a su contenido de nutrientes para el crecimiento de las plantas, materia orgánica, sustancias inhibitoras del crecimiento y patógenos para plantas y humanos. Por ello es importante realizar bioensayos con plantas junto con los análisis químicos, físicos y microbiológicos para determinar la madurez y la eficacia del vermicompost.

No hay reportes sobre las características físicas y químicas y microbiológicas del contenido ruminal vermicompostado de manera que por un lado sea factible su utilización en el crecimiento de las plantas y por otro que los productos derivados de un manejo con abonos de origen animal no representen peligro al ingerirlos. Así mismo tampoco hay información sobre sus posibilidades de ser utilizado en

forma líquida como fertilizante orgánico en una solución nutritiva para la producción de hortalizas como el cultivo de pepino.

Para contribuir en el conocimiento del reciclaje y utilización del contenido ruminal, en éste trabajo se hace un estudio para manejar y reutilizar este residuo, considerando varias etapas metodológicas. Se inicia con la biodegradación del contenido ruminal el cual se caracteriza desde el punto de vista nutricional y microbiológico para conocer su potencial uso en la agricultura y posteriormente se valoran sus características como un fertilizante orgánico en formas sólida y líquida, en un ensayo agronómico.

Los objetivos e hipótesis de este trabajo fueron los siguientes:

2. OBJETIVOS

2.1 GENERAL

Caracterizar y valorar agronómicamente el vermicompost producido por *Eisenia foetida* obtenido del contenido ruminal de bovino.

2.2 ESPECÍFICOS

1. Realizar una caracterización física, química y microbiológica al contenido ruminal de bovino durante el proceso de vermicomposteo con *Eisenia foetida*.
2. Realizar una valoración agronómica tanto del vermicompost sólido obtenido de la biodegradación, como de un extracto líquido derivado de este.

3. HIPÓTESIS

1. Las características físicas, químicas y microbiológicas del vermicompost sólido obtenido del contenido ruminal son adecuadas para el crecimiento del cultivo de pepino variedad Carolina en condiciones de invernadero, y no representan peligro de contaminación al ingerir el producto.
2. El extracto o te de vermicompost utilizado como una solución nutritiva, es una alternativa al uso de fertilizantes químicos en la producción de pepino variedad Carolina en invernadero.

4. REVISION DE LITERATURA

4.1 Contenido ruminal de bovino

El contenido ruminal (CR) es un producto obtenido de la matanza en los rastros municipales y representa el alimento ingerido por los animales poligástricos que es desechado al momento del sacrificio (Chaverra y Bernal, 2006). Es una mezcla de material no digerido que tiene la consistencia de una papilla, con un color amarillo verdoso y un olor característico muy intenso cuando está fresco, además posee gran cantidad de flora y fauna microbiana y productos de la fermentación ruminal. El análisis bromatológico del contenido ruminal resulta en cantidades de humedad de 85%, 9.60% de proteína, 2.84% de grasa y 2.70% de fibra (Falla, 1994).

De acuerdo a lo anterior se puede inferir que el CR obtenido en los mataderos es una alternativa para la alimentación de rumiantes, pollos y cerdos de engorda por sus características químicas-biológicas, bromatológicas, microbiológicas y su amplia disponibilidad (Blanco, 1999).

Se tiene reportado que en el rumen, cierta cantidad de proteína de la dieta que ingiere el animal, puede escapar a la degradación y pasar al intestino sin modificaciones, a ésta se le denomina proteína de paso o sobrepasante (Kamande, 2006), lo que indica que en el rumen también se encuentran proteínas que pueden enriquecer los contenidos nutrimentales de un producto final composteado.

4.2 El contenido ruminal como problema ambiental

Las principales fuentes generadoras de desechos sólidos en los rastros municipales son los corrales, el proceso de descuerado, y el proceso de evisceración. En los corrales se generan importantes cantidades de estiércol mezclado con orines, la estimación indica que un bovino (450-653 Kg) genera entre 38 y 53 Kg de estiércol por día (Castro y Vinueza, 2011).

Después en el proceso de eviscerado es donde se genera la mayor cantidad de desechos sólidos. El principal residuo generado es el rumen o el contenido del estómago del ganado. Se caracteriza por contener lignocelulosa, mucosa y fermentos digestivos, además de contener un elevado contenido de microorganismos patógenos. Una fuente esporádica de generación de residuos son los animales decomisados (no aptos para consumo humano) (INTEC, 2000).

El CR es uno de los contaminantes con mayor impacto ambiental, anualmente se obtienen 85 mil toneladas de este desecho, el cual produce una alta carga orgánica en los efluentes de los rastros que por su forma de depósito llegan a fosas sépticas, basureros municipales y aguas residuales fomentando la contaminación y poniendo en riesgo la salud pública (Uicab y Sandoval, 2003; Trillos, 2007).

Si no es manejado adecuadamente tiene un impacto negativo en el medio ambiente porque se derivan emisiones de amoníaco antes y durante el almacenamiento y disposición en los tiraderos. También se producen emisiones de óxidos de nitrógeno formados como un producto secundario del proceso de desnitrificación, y además metano formado durante la descomposición del CR bajo condiciones anaeróbicas. La escorrentía del CR y de sus componentes hacia el agua superficial contribuye a la contaminación del agua (Salazar et al., 2003; Uicab y Sandoval, 2003).

En tales condiciones, existe un potencial de contaminación como resultado de un inadecuado manejo, almacenamiento, estabilización o uso como abono al aire libre. Una revisión realizada por Millner (2008) señala que los estiércoles de bovinos u otros animales son una fuente potencial de una amplia variedad de agentes infecciosos (Cuadro1) que pueden causar enfermedades en humanos directa o indirectamente a través del consumo de agua, alimentos contaminados o insectos vectores.

Cuadro 1. Algunos microorganismos patógenos del sector de salud que corresponden al estiércol de animales y sus fuentes.

| Bacterias | Fuente (s) potenciales de origen animal |
|--------------------------------------|--|
| Campylobacter coli y C. jejuni | Bovinos, ovinos, porcinos, aves de corral, cabras, animales silvestres |
| Bacillus anthracis | Bovinos, ovinos, porcinos, animales silvestres |
| Brucella abortus | Bovinos, ovinos, caprinos, animales silvestres |
| Escherichia coli cepas patogénicas | Bovinos, ovinos, porcinos, animales silvestres, aves, aves acuáticas |
| Leptospira spp. | Bovinos, porcinos, equinos, caninos, roedores, animales silvestres |
| Listeria monocytogenes | Bovinos |
| Mycobacterium bovis | Bovinos |
| Mycobacterium avium paratuberculosis | Bovinos |
| Salmonella spp. | Bovinos, ovinos, porcinos, aves de corral, caprinos |
| Yersinia enterocolitica | Porcinos |
| Virus | |
| Gripe aviar porcina | Porcinos, cerdos de nueva guinea, otros mamíferos |
| Hepatitis E | Porcinos |
| Parásitos | Enfermedades |
| Protozoos | |
| Balatidium coli | Porcinos, cerdos de nueva guinea, otros mamíferos |
| Cryptosporidium parvum | Bovinos, ovinos, porcinos, anfibios, reptiles, aves, aves acuáticas |
| Giardia spp. | Bovinos, ovinos, porcinos anfibios, reptiles, aves, aves acuáticas |
| Toxoplasma spp. | Felinos, animales de sangre caliente |
| Helmintos | Porcinos |
| Ascaris suum | Porcinos |
| Taenia spp. | Bovinos, porcinos |
| Trichuris trichiura | Porcinos |

La generación de los desechos orgánicos es un problema ambiental mundial, por tal motivo la recuperación, reutilización y transformación de los residuos en insumos útiles es una opción. Los residuos de mataderos son una fuente valiosa de nutrientes ya sea animal o agrícola lo cual se traduce en ingresos para los sistemas agropecuarios, ya que se elimina un subproducto con capacidad de producir efectos adversos al medio, que a su vez estaría generando costos adicionales en la producción (Uicab y Sandoval, 2003).

4.3 Manejo de residuos orgánicos

El manejo de los residuos orgánicos como el contenido ruminal, se define como un proceso de toma de decisiones que apunta a combinar la producción agrícola rentable con pérdidas mínimas de nutrientes. El buen manejo de estos residuos minimizará los efectos negativos y estimulará los efectos positivos sobre el medio ambiente. La emisión de gases y el lavado de nutrientes, la materia orgánica y los olores tienen efectos indeseables sobre el medio ambiente. La contribución a la nutrición de las plantas y a la acumulación de materia orgánica en el suelo es considerada como efecto positivo. Un efecto positivo indirecto es que el uso de residuos puede ahorrar recursos no renovables usados en la producción de fertilizantes inorgánicos (Uicab y Sandoval, 2003; García, 2006; Durán y Henríquez, 2010).

Los residuos orgánicos como los estiércoles son considerados como una fuente potencial de patógenos, aunque esto no significa que la mayoría puedan contener todos los tipos de patógenos. Sin embargo las tecnologías en el manejo de estos residuos están diseñadas para destruir los tipos de patógenos más resistentes que se han reportado y están agrupadas en dos grandes categorías que reflejan los mecanismos implicados en los procesos: (1) físico-químicas y (2) biológicas. Algunas de las físico-químicas incluyen la combustión, gasificación, separación y filtración, así como el tratamiento alcalino. Con respecto a las biológicas, incluyen

el compostaje termofílico, el vermicompostaje, la digestión aeróbica y anaeróbica, (Gómez et al., 2012; Aira y Domínguez, 2010b; García, 2006)

La biodegradación, es el resultado de los procesos de digestión, asimilación y metabolización de un compuesto orgánico llevado a cabo por bacterias, hongos, protozoos y otros organismos. Generalmente todo compuesto sintetizado puede ser descompuesto biológicamente. Sin embargo, muchos compuestos biológicos (lignina, celulosa, entre otros) son difíciles de degradar por los microorganismos debido a sus características químicas. La biodegradación como tal es un proceso natural, benéfico, no sólo por permitir la eliminación de compuestos perjudiciales impidiendo su concentración, sino que además es indispensable para el reciclaje de los elementos en la biosfera, permitiendo la reincorporación de elementos esenciales y crecimiento de organismos benéficos (Gómez et al., 2012; Canet y Albiacha, 2008). La descomposición puede llevarse a cabo en presencia de oxígeno (aeróbica) o en su ausencia (anaeróbica). La primera es más completa y libera mayor energía, dióxido de carbono y agua, es la de mayor rendimiento energético, y es usada en la elaboración de compostas. Respecto a la segunda, se refiere a oxidaciones incompletas y liberan menor energía, y se refiere más a la técnica para elaborar bioles. Otra forma de biodegradar un sustrato, es por medio de la utilización de enzimas proteolíticas, sin embargo, su uso no es muy rentables y no elimina del todo los olores del sustrato biodegradado. Por ello, actualmente se están utilizando alternativas menos costosas y con una eficiencia mayor en la recuperación de nutrientes como el composteo con lombrices llamado vermicomposteo. (Gómez et al., 2012; Labrador, 2001; Peña et al, 2002).

4.4 Lombricultura

La lombricultura es una tecnología que consiste en la transformación de los desechos orgánicos (estiércol, contenido ruminal, restos de plantas, restos de alimentos) en compost mediante la cría intensiva de lombrices de tierra. Esta técnica permite reciclar los desechos orgánicos para obtener materia orgánica (humus de lombriz), y proteínas (las lombrices como tal son alimento de peces, aves, cerdos). Además, es una actividad de baja inversión, mínimo riesgo, fácil administración, y alta rentabilidad por los beneficios múltiples que se obtienen. (NMX-FF-109-SCFI-2007; Fernández et al., 2009).

Se le atribuye a Aristóteles como el primero que hizo mención de las lombrices, llamándolas los intestinos de la tierra. Sin embargo, en el antiguo Egipto ya era conocida la importancia de las lombrices debido a que observaron su efecto en la fertilidad del valle del Nilo. No obstante, es hasta el año de 1770 cuando Gilbert White reconoce la importancia de las lombrices como organismos necesarios para el buen desarrollo de las plantas. Después, en 1886, J. C. Savigny experimentó con las lombrices y finalmente Darwin en 1881 fue considerado el primer investigador que describió más a profundidad la importancia de la lombriz en (García, 2006).

Esta técnica tan versátil ofrece una alternativa para el manejo de desechos que se vuelven contaminantes tales como la fibra de coco, pulpa de café, hojarasca, los desperdicios de los restaurantes, de cocinas económicas, así como el excremento del ganado en establos o grajas (Serrano y Borri, 2007).

Domínguez y Edwards (2011) resumen en el cuadro 2, los valores de los factores que afectan la función de las lombrices y el vermicomposteo. Se observa que a fin de que el proceso se dé con más eficiencia, los residuos deben de tener una relación carbono: nitrógeno entre 25 y 30, una humedad entre 80 y 85%, una temperatura entre 4 y 30°C un pH entre 5 y 9 y bajo contenido de sales.

Cuadro 2. Características del Vermicompost.

| Factores de Proceso | Valores |
|-----------------------------|---|
| Relación de contenido C:N | 25:1 a 30:1 |
| Tamaño inicial de partícula | 10.20 mm (valores más altos que reducen la velocidad del proceso) |
| Contenido de humedad | 80%-85% (límites 60%-90%) |
| Oxígeno | Las lombrices mantienen condiciones aerobias |
| Temperatura | 15°C-25°C (límites 4 °C-30°C) |
| pH | >5 y <9 |
| Contenido de amonio | Más bajo: <0.5mg*g ⁻¹ |
| Contenido de sales | Más bajo: <0.5% |
| Tamaño de hilera | Cualquier largo y ancho de 50 cm de alto (valores más altos que reducen la velocidad del proceso o lo detienen) |
| Tamaño de reactor | 40 m largo x 2.4 m ancho x 1 m profundidad. Los contenidos se añaden en capas delgadas de 5-10 cm |
| Patógenos de humanos | Muertos después de 70 días de vermicomposteo |
| Tiempo transcurrido | De 4 a 12 meses en la cama a 30-60 días de continuo sistema de reactor |

4.5 Especies de interés para la lombricultura

En el mundo existen más de 3,100 especies de lombrices clasificadas hasta el momento de las cuales se emplean en la lombricultura, de las cuales destacan como las más eficientes y productivas en el aprovechamiento de los residuos orgánicos: *Eudrilus eugenieae* (lombriz gigante africana), *Eisenia foetida* (lombriz roja californiana), *Eisenia andrei* (lombriz roja californiana), *Perionyx excavatus* (lombriz oriental de las compostas), *Lumbricus rubellus*, *Dichogaster annae* (lombriz gris) (García, 2006; NMX-FF-109-SCFI-2007; Domínguez et al., 2003; Domínguez y Pérez, 2010c).

4.6 *Eisenia foetida*

Las lombrices de tierra pertenecen al Filum Annelida (gusanos anillados), que se alimentan de materia orgánica y son muy prolíficas, están dentro de la clase Oligochaetas, organismos que viven en hábitats terrestres húmedos, de la familia Lumbricidae (García, 2006; Pérez et al., 2011).

En la lombricultura se ha usado a la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) por ser extremadamente productiva; vive en grandes densidades; se produce en cautiverio; es muy voraz y acepta todo tipo de desechos orgánicos; respira a través de la piel; cada día come el equivalente al peso de su cuerpo y el alimento lo desecha en forma de humus mediante 182 conductos. Es muy rustica, debido a que adapta con facilidad a la mayoría de ambientes, siempre y cuando se controlen los factores de pH, humedad y temperatura (García, 2006; Pérez et al., 2011; Díaz et al., 2008).

4.7 Vermicomposteo

Aunque los microorganismos son altamente responsables de la biodegradación de la materia orgánica, las lombrices afectan las tasas de descomposición directamente al alimentarse y digerir la materia orgánica y microorganismos o indirectamente al afectar la represión o estimulación de los microorganismos implicados en el proceso. Por ello, el vermicomposteo implica la bioxidación y estabilización de materiales orgánicos a través de la interacción entre lombrices y microorganismos. Si bien los microorganismos son directamente responsables de la degradación bioquímica de la materia orgánica, las lombrices juegan un papel muy importante en los procesos de fragmentación y acondicionamiento del sustrato, incrementando el área para el crecimiento de los microorganismos y alterando su actividad biológica. Las poblaciones altas de lombrices en el sistema de vermicomposteo resultan en una rápida transformación de la materia orgánica fresca (Pandit et al., 2012; Aira y Domínguez, 2010; Villareal et al., 2010; Ibarra et al., 2004).

En el vermicomposteo, se desarrollan eventos físicos, químicos y biológicos que provocan cambios en el material orgánico en cierto periodo de tiempo. Uno de estos cambios es la relación carbono nitrógeno (C/N), la cual generalmente se reduce con el tiempo. La relación C/N es un factor muy importante en el proceso de mineralización de un abono orgánico, ya que los contenidos de C y N son esenciales para la vida y la reproducción de los microorganismos. Los microorganismos necesitan C como fuente de energía y, junto con el N, para la síntesis de proteínas y estructuras celulares. Si la relación C/N excede 25, entonces los microorganismos degradarán la materia orgánica si hay suficiente N disponible para ellos en el medio, causando una inmovilización temporal de ese N. Cuando la relación C/N es baja, por ejemplo menor que 20, la materia orgánica es degradada fácilmente, el N es temporalmente inmovilizado dentro de los microorganismos, pero al morir estos el N se libera al medio. Cuando la relación C/N se encuentra entre 20 y 25 ambos procesos, mineralización e inmovilización estarán ocurriendo aunque en general terminarán liberando N al llegar a un equilibrio determinado (Stevenson, 1986; Epstein, 1997; Foth and Ellis, 1997). Resultado de esto, generalmente durante el vermicomposteo, la materia orgánica y el carbono se reducen debido a la descomposición de la materia orgánica. Mientras que el N generalmente se reduce debido a la pérdida por volatilización de NH_3 , pHs altos o a la absorción de N por las lombrices (Albannel et al., 1988).

Con relación al pH, generalmente su tendencia es a la baja como resultado de la formación CO_2 y ácidos producidos durante el metabolismo microbiano. Así mismo el contenido de humedad disminuye hasta alcanzar valores entre 45 y 60%. Las sales cambian a la baja o a la alta dependiendo del material usado, para algunos autores el incremento de la conductividad eléctrica (CE) obedece a la mineralización de elementos químicos (Gunadi y Edwards, 2003; Durán y Henríquez, 2007; Capulin et al., 2011). La capacidad de intercambio catiónico (CIC) generalmente se incrementa como resultado de la formación de ácidos húmicos que poseen una alta CIC. Estos ácidos también se incrementan como resultado de la transformación de la materia orgánica en sustancias húmicas. El incremento de nutrientes minerales como P, K y Na y otros, se debe a la

mineralización de la materia orgánica por las lombrices y microorganismos. Durante el vermicomposteo, los microorganismos tienen una reducción debido a que las lombrices promueven el crecimiento de aquellos que intervienen en el proceso de mineralización. (Pandit et al., 2012; Arancon et al. 2005; Hernández et al., 2010; Domínguez y Edwards, 2011;)

La mineralización de nitrógeno es regulada básicamente por la disponibilidad de nitrógeno y amonio disuelto, la actividad microbiana y sus requerimientos de carbono y de nitrógeno. Las lombrices tienen un gran impacto en la transformación de nitrógeno durante el vermicomposteo a través de las modificaciones de las condiciones ambientales y de su interacción con los microorganismos, favoreciendo así la mineralización al producir condiciones que promueven la nitrificación, que resulta en una rápida conversión de nitrógeno amoniacal en nitrógeno nítrico (Domínguez et al., 2003; Aira et al., 2007); Aira y Domínguez, 2010).

Aunque el vermicomposteo no es un proceso termofílico, gran parte de las poblaciones de organismos patógenos indicadores para humanos se reducen. Trabajos de Aira y Domínguez, 2010, indican que después de dos semanas de vermicomposteo *Eisenia foetida* redujo el número total de coliformes pero solo en dosis bajas de sustrato. Lo anterior, mencionan estos autores, se debe a que el sustrato procesado por las lombrices constituye un ambiente desfavorable para los coliformes, lo cual es explicado por el decremento de carbono asimilable en el sustrato biodegradable causado por las lombrices, y también por la competencia que se establece entre los coliformes y otros miembros de la comunidad microbiana. Otros autores (Domínguez et al., 2003; NMX-FF-109-SCFI-2007; Yakushev et al., 2011) mencionan que la muerte de estos patógenos se debe principalmente a la secreción de fluidos en el intestino de la lombriz, los cuales son sometidos a antagonismo durante el proceso de biodegradación con sustancias antimicrobianas que se generan en el tracto digestivo de la lombriz, al mismo tiempo que se modifica la diversidad y actividad microbianas, ya que se estima que el tracto digestivo posee una flora microbiana que alcanza unos 500 mil millones de microorganismos.

4.8 El vermicompost

El vermicompost es un producto de la biodegradación y estabilización de materiales orgánicos por la interacción de lombrices y microorganismos. Es un material parecido a la turba, con alta porosidad, aireación, drenaje, capacidad de almacenamiento de agua y actividad microbiológica, lo cual lo hace un excelente mejorador de suelos (Atiyeh et al., 2002). La adición de vermicompost de diferentes fuentes como estiércol de vaca, estiércol de cerdo, desperdicios de alimentos, etc., incrementa la tasa de germinación, el crecimiento y el rendimiento de muchos cultivos de alto valor económico (Atiyeh et al., 2002). El vermicompost contiene reguladores de crecimiento vegetal tales como ácidos húmicos y auxinas, giberelinas y citocininas (Atiyeh et al., 2002; Canellas, et al., 2002), los cuales son responsables del incremento en el crecimiento de las plantas y el rendimiento de muchos cultivos (Atiyeh et al., 2002; Arancon et al., 2007). Esos reguladores de crecimiento de las plantas son producidos por la acción de microbios como hongos, bacterias, actinomicetos y lombrices y enriquecen la microbiota del suelo y sirven como bioplaguicida (Domínguez *et al.*, 2010a). El vermicompost proporciona una gran superficie con micrositios para la actividad microbiana y para la retención de nutrientes. Como resultado, muchos nutrientes como nitratos, fosfatos, calcio y potasio intercambiables, están más disponibles para las plantas. Además, la aplicación de vermicompost también suprime el crecimiento de muchos hongos como *Pythium*, *Rhizoctonia* y *Verticillium*, como resultado, muchas enfermedades de plantas son eliminadas cuando el vermicompost es aplicado en una gran cantidad en el suelo (Hoitink et al., 1997). Algunas veces el vermicompost también controla la población de nemátodos parásitos de plantas (Arancon et al., 2007). Por lo tanto el vermicompost exhibe similares efectos sobre el crecimiento y rendimiento de plantas como el mostrado por fertilizantes inorgánicos aplicados al suelo o reguladores del crecimiento de plantas y hormonas (Mendoza, 2010).

4.9 Vermicompost líquido

El vermicompost líquido, llamado también té, es un extracto en agua que contiene altos niveles de microorganismos benéficos y nutrientes solubles. En los últimos años ha llamado la atención de productores e investigadores debido a que varios experimentos han indicado que la aplicación de extractos de vermicompost mejoran la sanidad de la planta, el rendimiento y la calidad nutritiva. Los extractos de compost además, pueden suministrar biomasa microbiana y materia orgánica en partículas pequeñas, ácidos orgánicos, reguladores de crecimiento y nutrientes minerales tanto a la planta como al suelo (Arancon et al., 2007; Pane et al., 2012; Fayed, 2010; Pant et al., 2009).

El vermicompost tanto sólido como líquido contiene sustancias de composición química compleja, auxinas, ácidos húmicos y fúlvicos, órgano-minerales, de alto peso molecular, muy estables, de color negro a café oscuro, con propiedades coloidales e hidrofílicas, que se forman durante el proceso de transformación de la materia orgánica, los cuales estimulan el crecimiento de la planta (NMX-FF-109-SCFI-2007; Atiyeh et al., 2002).

El vermicompost líquido es una alternativa sustentable en la producción de abonos orgánicos, y es efectivo a reducidas concentraciones en las primeras etapas del crecimiento y desarrollo de los cultivos. Se tiene conocimiento de sus beneficios, manifestando sus potencialidades como bioestimulante vegetal en numerosos cultivos, ya que satisface las necesidades nutricionales y es capaz de aportar sustancias de alta actividad biológica inocuas al ambiente (Arteaga et al., 2006).

El vermicompost es utilizado en diversos campos de aplicación, lo que ha generado un consumo creciente de materiales orgánicos para su generación durante los últimos años. La utilización del vermicompost como fertilizante orgánico, enmienda, preparación de extracto líquido y elaboración de sustratos para horticultura son algunos de los principales usos de materiales orgánicos en

la agricultura (Canet y Albiach, 2008). Se han descrito efectos positivos del uso del vermicompost líquido sobre la precocidad y peso de las piezas cosechadas en diferentes hortalizas (Ramesh et al., 2005). Por otra parte, los efectos positivos más destacables se presentan cuando estos productos se aplican al suelo, debido a los aportes de carga bacteriana activa (Canet y Albiach, 2008).

4.10 Calidad del vermicompost

El principal atributo de un compost para ser usado con seguridad en el suelo, es su alta estabilidad o madurez, lo cual implica entre otras cosas, un estable contenido de materia orgánica y la ausencia de compuestos fitotóxicos y patógenos de animales (Salazar et al., 2003).

García (2006) y Capistrán et al., (1999) hacen una revisión de los criterios considerados para que un vermicompost sea considerado maduro. El vermicomposteo transforma materiales orgánicos en productos útiles que son ricos en nutrientes disponibles para el crecimiento de las plantas, bajo en carbono biodegradable y sustancias fitoinhedoras del crecimiento y relativamente libre de patógenos para humanos y plantas. Un vermicompost maduro debe ser de un color entre café y negro, finamente dividido, parecido a la turba, con excelente estructura, porosidad y aireación y drenaje y alta capacidad de almacenamiento de agua (Capistrán, et al., 1999; NMX-FF-109-SCFI-2007). Algunos otros criterios que se consideran en la madurez del vermicompost son la relación carbono nitrógeno (C/N), que es el índice más ampliamente utilizado y este varía dependiendo del material. La relación C/N de un vermicompost maduro tiene un valor cercano a 10. El más importante aspecto de este índice es si el material utilizado como fertilizante orgánico libera nitrógeno o causa una competencia con las plantas por nitrógeno en la solución del suelo (Durán y Henríquez, 2009; Jiménez, 2008; Salazar et al. 2003).

Otro criterio de madurez son las sustancias húmicas. Durante el proceso de maduración las sustancias húmicas son predominantes sobre los ácidos fúlvicos; la relación entre estos dos se considera como un índice importante de madurez, y se propone que esta relación debe ser mayor a 1 en un compost maduro (Porta et al., 2003).

La ausencia de sustancias inhibitoras del crecimiento de plantas es otro criterio importante de madurez del vermicompost. Tal vez el mejor indicador de madurez de un compost es la ausencia de ácidos alifáticos y fenoles bioinhibidores, los cuales pueden ser detectados por cromatografía o usando pruebas de germinación (Acosta et al., 2004). Estas pruebas consisten en hacer germinar semillas en cajas de Petri y colocarlas en papel filtro humedecido con el extracto en agua de algún material cuyos resultados de germinación y crecimiento de la raíz son comparados con los obtenidos de semillas colocadas en agua destilada (Mitelut y Popa, 2011).

Un criterio de calidad también importante es la ausencia de patógenos para humanos. Se ha propuesto que un vermicompost se considera higiénico si 100 gramos de muestra no contienen *Salmonella* ssp., virus humanos, huevos de parásitos infecciosos de helmintos, no más de 5×10^4 coliformes fecales y 5×10^5 estreptococos fecales. (Fernández, 2000, FSIS, 1996).

Los desechos orgánicos a biodegradar contienen una carga diversa de microorganismos, en los cuales comúnmente encontramos enteropatógenos a la salud del hombre, como *Escherichia coli*, *Salmonella* ssp., *Shigella* ssp., *Giardia lamblia*, *Cryptosporidium parvum*, *Áscaris lumbricoides* (Spencer y García, 2007; Gómez et al., 2004).

Se sabe que durante el proceso de biodegradación hasta la obtención del vermicompost, se producen cambios en la composición, química, física y microbiológica del sustrato debido a la actividad de las lombrices, aportando un incremento en la materia orgánica, macros y micros elementos, así como una carga diversa de microorganismos aportados por la biota biológica del interior de

la lombriz, así como otros organismos presentes en sustrato durante la biodegradación, de ahí que durante el proceso desaparecen microorganismos patógenos, debido a la adición de otros antagonistas y benéficos al hombre y ambiente (Nourbakhsh, 2007; Kurian y Velmourougane, 2011). En base a lo anterior, es importante realizar análisis microbiológicos al vermicompost que se genera, independientemente de la fuente de origen, esto con el fin de determinar la inocuidad del mismo, ya que el uso de estos abonos orgánicos, generalmente son destinados a la agricultura o enmienda de suelos, para su fertilidad.

México cuenta actualmente con una norma que determina las características físicas y químicas recomendables para el vermicompost o humus de lombriz, la cual establece los indicadores y sus valores utilizados en la estabilidad del material biodegradado (Cuadro 3), el cual debe presentar una coloración café oscuro, sin olor desagradable, suave y seco, con agregados que conforman el producto. Las características anteriores ayudan a aumentar la capacidad de retención de humedad y la porosidad, lo que facilita la aireación, drenaje del suelo y los medios de crecimiento. Además, la norma establece un pH de 5.5 a 8.5, sin embargo, lo mejor es un pH neutro o cercano a 7, y 20 a 40% (NMX-FF-109-SCFI-2007; García, 2006).

Cuadro 3. Características químicas y físicas de la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007, para humus de lombriz.

| Característica | Valor |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| 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 8.54 |
| Conductividad eléctrica | ≤4 dS m ⁻¹ |
| Capacidad de intercambio catiónico | >40 cmol kg ⁻¹ |
| Densidad aparente sobre materia seca | 0.40 a 0.90 g mL ⁻¹ |
| Materiales adicionados | Ausente |

Es importante que el vermicompost posea una adecuada composición química que nos revela el contenido de elementos y diversas variables medibles relevantes para el uso del sustrato maduro como abono orgánico. Edwards y

Burrows (1988), señalan algunos valores de referencia de los contenidos nutrimentales de materiales vermicomposteados y de su fuente, y donde se observa claramente la ventaja del proceso de vermicomposteo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Efecto de la actividad de la lombriz en nutrientes y desechos orgánicos.

| Contenido orgánico | Nitrógeno (ppm) | P Soluble (% d.m.) | K Intercambiable (% d.m.) | Ca Intercambiable (% d.m.) | Mg Intercambiable (% d.m.) |
|---|-----------------|--------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Estiércol de bovino (no procesado) | 8.8 | 0.11 | 0.19 | 0.35 | 0.05 |
| Estiércol de bovino (vermicomposteado) | 259.4 | 0.18 | 0.41 | 0.59 | 0.08 |
| Estiércol de porcino (no procesado) | 31.6 | 1.05 | 1.49 | 1.56 | 0.45 |
| Estiércol de porcino (vermicomposteado) | 110.3 | 1.64 | 1.76 | 2.27 | 0.72 |
| Desecho de papa (no procesado) | 74.6 | 0.19 | 1.94 | 0.91 | 0.24 |
| Desecho de papa (vermicomposteado) | 1428.0 | 0.22 | 3.09 | 1.37 | 0.34 |

4.11 Importancia de la caracterización asociada a la aplicación del vermicompost como fertilizante orgánico

Existen diversos estudios que demuestran el papel de las frutas y verduras como vehículos de patógenos en brotes de enfermedades para el hombre. En las verduras crudas es posible aislar diversos microorganismos enteropatógenos, especialmente aquellas provenientes de cultivos expuestos a la contaminación fecal, los cuales fueron regados con aguas negras, uso de fertilizantes orgánicos, aves, excretas de ganado y animales domésticos. Indudablemente son factores que contribuyen al incremento incidente de parasitosis e infecciones por bacterias, virus patógenos y hongos como *Pythium*, *Rhizoctonia* y *Verticillium*, que registran las estadísticas disponibles asociados a frutas, hortalizas y enfermedades ocasionadas por fitopatógenos (Fernández, 2000; Uribe et al., 2009; Vázquez y Flores, 2010).

Los mismos abonos naturales son un vehículo de transmisión de enfermedades, así como las excretas, contaminadas por microorganismos del intestino del propio animal, y diseminadas por tierra, aire y agua contaminada usada para riego agrícola (Cervantes et al., 2008). Motivo por el cual es imperativo una adecuada caracterización de los abonos orgánicos usados en el mercado y como enmiendas agrícolas, con el fin de evitar y prevenir la incidencia de peligros asociados a la salud.

La problemática de la contaminación en frutas, legumbres, hortalizas no es exclusiva de países tercermundistas en donde a pesar de innegables progresos en muchas regiones, persisten prácticas insalubres en el cultivo, cosecha, transporte, comercialización y preparación de estos productos. Si los reportes de brotes no son frecuentes, es más probablemente debido a deficientes servicios de epidemiología que a una ausencia real de incidentes (Romero et al., 2000).

Tradicionalmente se ha mantenido el brote de enfermedades ocasionadas por *E. coli* y *Salmonella ssp* por consumo de alimentos de origen animal, sin embargo, comienza a proliferar estudios asociados al consumo de frutas y vegetales contaminado con aguas residuales y abonos orgánicos de mala calidad (Cepeda y Valencia, 2007). Estudios realizados por Rodríguez et al. (2008b), reportan la transmisión de *Salmonella* entérica serovariedad Typhimurium ATCC 13176 de un bioabono de compost a lechugas. En vista de que la microflora de las frutas de concha comestible varía ampliamente y refleja, tanto las condiciones de cultivo como las condiciones sanitarias durante el procesamiento y comercialización; es necesaria la evaluación de la calidad microbiológica de estos productos, a fin de asegurar la inocuidad de los mismos. Para esto se utilizan microorganismos indicadores, cuya presencia en los alimentos indica exposición a condiciones que pueden introducir microorganismos patógenos y/o permitir su crecimiento y proliferación (Fernández, 2000).

4.12 El cultivo de pepino

El nombre científico del pepino es *Cucumis sativus*, el cual es un fruto en baya de una planta herbácea que recibe su mismo nombre. Pertenece a la familia de las Cucurbitáceas agrupan unas 850 especies de plantas, casi todas herbáceas, trepadoras o rastreras, que producen frutos muy grandes y protegidos por una corteza firme. Frutas como la sandía y el melón pertenecen, junto con hortalizas tan comunes como el calabacín o la calabaza, a esta misma familia (Casaca, 2005; SIAP, 2010).

En el cuadro 5 se presenta generalidades de la planta de pepino (Casaca, 2005).

Cuadro 5. Generalidades agronómicas y ambientales del cultivo *Cucumis sativus*.

| Variable | Generalidades |
|-------------------|--|
| Sistema radicular | Consta de una raíz principal, que se ramifica para dar lugar a raíces secundarias de coloración blanquizca o amarillenta. |
| Tallo | Porte rastrero y trepador. |
| Hoja | Grande de forma acorazonada, con lóbulos pronunciados, color verde oscuro, recubierta con vello muy fino. |
| Flor | Es de corto pedúnculo y pétalos amarillos, aparecen en las axilas de las hojas. |
| Fruto | Es pepónide áspero o liso, con variación en su coloración de verde claro a obscuro, esto depende de la variedad, la pulpa es acuosa de color blanquecina, con semillas en su interior repartidas a lo largo del fruto. |
| Clima | Se adapta a climas cálidos y templados, menor a los 14 °C y mayor de los 40 °C el crecimiento se detiene, y si llega a un descenso menor a 1°C muere. |
| Humedad | Debido a las dimensiones de su área foliar requiere humedades 60-90%. |
| pH | Se adapta a rangos de 5.5-7.5. |
| Temperatura | Esta oscilara entre 16 °C y 27 °C, dependiendo de la etapa de desarrollo de la planta, y sea de noche o de día, |
| Luminosidad | Soporta grandes intensidades de luz, aunque con menos de 12 h de luz logra desarrollarse con normalidad. |
| Suelos | Requiere de suelos fértiles y bien drenados, desde arenosos hasta los franco-arcillosos, siendo los ideales los francos por su abundante materia orgánica. Este cultivo tolera suelos medianamente salinos. |
| Calidad | La firmeza y brillo externo, el color verde obscuro en la piel son también indicadores del estado prematuro deseado. |
| Comercialización | Seleccionados de acuerdo a normas de calidad. Se clasifican por su grado de madurez, tamaño, superficie cilíndrica y recta, color verde oscuro uniforme, limpios, diámetro, tamaño de semillas, humedad interna, sonido de resistencia al partarlos. |

El pepino es una hortaliza de verano, aunque en la actualidad se puede comprar durante todo el año gracias a los cultivos de invernadero que han proliferado de modo extraordinario. Se siembra en lomillos o montículos a una distancia entre surcos de 1.2 y 1.5 m quedando la planta de 20 cm, sembrándose en hoyos de 2 a 3 cm de profundidad en los que se colocan de tres a cuatro semillas en cada hoyo, se ralea después y se deja sólo una o dos plantas por hoyo (Trejo et al., 2003).

La cosecha se realiza manualmente con una frecuencia variable. El fruto para cosechar debe estar en estado óptimo de desarrollo, de acuerdo con las

exigencias del mercado, en general el fruto debe estar tierno y el mejor índice de ello es la semilla tierna. El fruto del pepino puede almacenarse durante diez a catorce días a temperaturas entre 10 a 12.5 °C, con una humedad relativa de 90 a 95% (Casaca, 2005).

El pepino, por su riqueza en agua, vitamina E y aceites naturales, constituye uno de los mejores remedios para el cuidado externo de la piel. Es de recalcar, que están formados en un 95 % de agua y un escaso valor calórico, que no llega a las 20 calorías por cada 100 g que los hace extremadamente ligeros (Yañez, 2002).

El pepino además se encuentra entre las principales exportaciones agroalimentarias de México. El cual se vio beneficiado por el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), desde 1993 hasta registros del 2006, se tienen datos registrados de un incremento en sus exportaciones al extranjero, generando un promedio de 192,541 dólares al país. Lo cual es congruente con el crecimiento de volumen de la producción de las principales hortalizas en México registradas durante los años de 1990 hasta el 2006, en las que destacan el tomate rojo, chile verde, cebolla, papa, tomate verde, zanahoria, brócoli, coliflor, pepino y esparrago (SAGARPA, 2007).

A continuación se presenta el avance de siembras y cosechas del pepino por Estado (Cuadro 6), en el cual es claro observar la participación del Estado de Michoacán con un rendimiento de 19.958 ton/ha, siendo Yucatán el principal productor de este hortaliza con 61.276 ton/ha (SIAP, 2012b).

Cuadro 6. Superficie cosechada y rendimiento de pepino por entidad federativa.

| Estado | Superficie (ha) | | | Producción (ton) | Rendimiento (ton/ha) |
|---------------------|-----------------|-----------|-------------|---------------------|-------------------------|
| | sembrada | cosechada | siniestrada | obtenida | obtenido |
| Baja california | 266 | 243 | | 14,253 | 58.701 |
| Baja california sur | 26 | 26 | | 1,033 | 40.498 |
| Campeche | 28 | 28 | | 158 | 5.643 |
| Colima | 328 | 328 | | 9,146 | 27.84 |
| Guanajuato | 87 | 87 | | 1,941 | 22.31 |
| Guerrero | 57 | 57 | | 703 | 12.325 |
| Hidalgo | 60 | 60 | | 1,110 | 18.5 |
| Jalisco | 205 | 203 | 2 | 3,863 | 19.006 |
| México | 22 | 22 | | 517 | 23.5 |
| Michoacán | 2,252 | 2,252 | | 44,935 | 19.958 |
| Morelos | 452 | 450 | | 8,380 | 18.621 |
| Nayarit | 287 | 287 | | 3,334 | 11.616 |
| Oaxaca | 76 | 76 | | 731 | 9.583 |
| Puebla | 145 | 145 | | 2,962 | 20.428 |
| Querétaro | 3 | 3 | | 38 | 12.667 |
| Quintana roo | 41 | 41 | | 2,193 | 53.745 |
| San Luis Potosí | 10 | 10 | | 186 | 18.6 |
| Sinaloa | 3,813 | 3,800 | | 232,827 | 61.276 |
| Sonora | 296 | 296 | | 14,236 | 48.095 |
| Tabasco | 9 | 9 | | 108 | 12 |
| Tamaulipas | 159 | 159 | | 2,226 | 14 |
| Veracruz | 124 | 110 | | 2,036 | 18.509 |
| Yucatán | 457 | 457 | | 34,328 | 75.13 |
| Zacatecas | 30 | 30 | | 584 | 19.467 |
| Total | 9,233 | 9,178 | 2 | 381,826 | 41.601 |

Datos Preliminares. Fuente: Elaborado por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), con información de las Delegaciones de SAGARPA.

En el cuadro 7 se presenta el resumen nacional por producto, en el cual se aprecia un rendimiento de 41.601 ton/ha, solo por debajo del tomate rojo y la fresa (SIAP, 2012a).

Cuadro 7. Superficie cosechada y rendimiento de pepino y otros cultivos.

| Producto | Superficie (ha) | | | Producción | Rendimiento |
|-----------------------------|-----------------|-------------|-----------|-------------------|----------------------|
| | sembrada | siniestrada | cosechada | (ton) obtenida | (ton/ha) obtenido |
| Ajo | 5,293 | 146 | 4,983 | 53,974 | 10.832 |
| Ajonjolí | 8,192 | 156 | 8,036 | 4,699 | 0.585 |
| Algodón hueso | 3,878 | 32 | 1,538 | 3,929 | 2.555 |
| Arroz palay | 4,471 | | 2,810 | 18,058 | 6.426 |
| Avena forrajera en verde | 166,305 | 3,828 | 158,757 | 3,589,408 | 22.609 |
| Avena grano | 8,434 | 754 | 7,404 | 24,710 | 3.337 |
| Brócoli | 12,361 | 265 | 12,062 | 177,424 | 14.709 |
| Calabacita | 13,631 | 1,092 | 12,388 | 222,069 | 17.927 |
| Cártamo | 185,570 | 5,745 | 160,549 | 239,293 | 1.49 |
| Cebada grano | 79,653 | 171 | 79,419 | 470,018 | 5.918 |
| Cebolla | 20,213 | 1,200 | 18,834 | 502,132 | 26.661 |
| Chile verde | 37,351 | 758 | 35,584 | 861,694 | 24.216 |
| Coliflor | 1,353 | 20 | 1,298 | 23,867 | 18.38 |
| Fresa | 6,511 | | 6,201 | 310,858 | 50.128 |
| Frijol | 242,692 | 8,786 | 230,875 | 258,286 | 1.119 |
| Lechuga | 7,411 | 1,000 | 6,181 | 123,343 | 19.956 |
| Maíz forrajero en verde | 2,738 | 77 | 2,660 | 76,727 | 28.85 |
| Maíz grano | 1,028,384 | 16,858 | 998,052 | 5,454,681 | 5.465 |
| Melón | 11,452 | 680 | 10,722 | 267,038 | 24.907 |
| Papa | 31,029 | 28 | 30,858 | 829,147 | 26.87 |
| Pepino | 9,233 | 2 | 9,178 | 381,826 | 41.601 |
| Sandia | 22,280 | 258 | 21,984 | 569,477 | 25.904 |
| Sorgo forrajero en verde | 25,814 | 1,439 | 23,791 | 393,355 | 16.534 |
| Sorgo grano | 903,486 | 17,952 | 876,764 | 3,348,978 | 3.82 |
| Soya | 1,830 | | 760 | 1,750 | 2.303 |
| Tabaco | 6,334 | | 6,334 | 14,564 | 2.299 |
| Tomate rojo (jitomate) | 33,049 | 478 | 31,962 | 1,360,597 | 42.569 |
| Tomate verde | 21,438 | 1,266 | 20,116 | 282,023 | 14.02 |

| | | | | | |
|-------------|-----------|--------|-----------|------------|--------|
| Trigo grano | 504,968 | 6,920 | 486,451 | 3,029,604 | 6.228 |
| Zanahoria | 4,651 | 464 | 4,034 | 101,175 | 25.083 |
| Total | 3,410,004 | 70,375 | 3,270,584 | 22,994,703 | |

Datos Preliminares. Fuente: Elaborado por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), con información de las Delegaciones de SAGARPA.

En la actualidad, el uso diversas técnicas principalmente dentro de la categoría de cultivos protegidos, riego por goteo, hidroponía, acolchado plástico, variedades mejoradas, han aumentado la producción de pepino en cuanto al rendimiento en ton/ha (Vázquez y Méndez, 2009; Ortiz et al., 2009)

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Localización del sitio experimental

La presente investigación se realizó en el CIIDIR-IPN Unidad Michoacán, ubicado en la ciudad de Jiquilpan de Juárez, Michoacán. Constó de dos etapas, la primera relativa a la caracterización del vermicompost, se realizó durante los meses de febrero a Junio del 2011 en el campo experimental y los laboratorios de microbiología y central de alimentos, y la segunda relativa a la valoración agronómica del vermicompost se realizó durante los meses de julio a octubre del 2011 en el invernadero de este centro ubicado en las coordenadas 19° 59' 58.37" de latitud norte y los 102° 42' 25.11" de longitud oeste, a una altitud de 1545 m.s.n.m. (Google Earth, 2012).

5.2 Etapa A. Caracterización física, química y biológica del vermicompost obtenido del contenido ruminal

5.2.1 Construcción de la cama para vermicompostear

En el campo experimental del CIIDIR-IPN Unidad Michoacán, se construyó una cama de 1 m de ancho por 8 m de largo y una profundidad de 25 cm (Figura 1), la cual fue delimitada con ladrillos y una cubierta de plástico para evitar la migración de las lombrices y además proporcionar el manejo adecuado para su crecimiento.

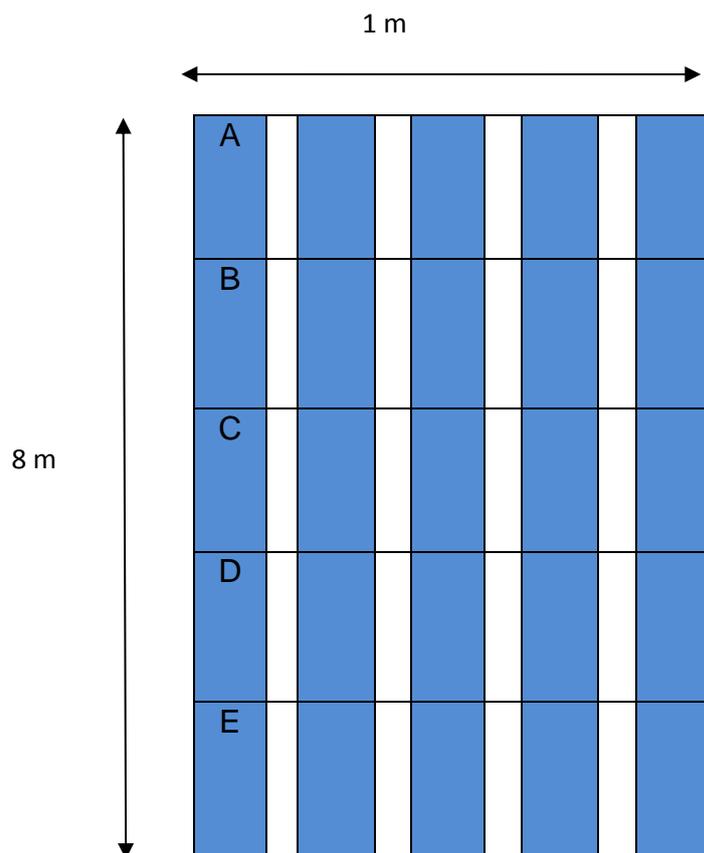


Figura 1. Diseño de la cama para el proceso de vermicomposteo.

Como se indica en la figura, la cama se dividió en cinco partes donde se tomaron muestras durante el proceso de vermicomposteo. En total se realizaron 6 muestreos cada 15 días para medir las características físicas, químicas y biológicas que el contenido ruminal fue adquiriendo durante el vermicomposteo.

El contenido ruminal (sustrato a biodegradar) se tomó del rastro municipal de Sahuayo, Michoacán, ubicado en las coordenadas 20° 03' 41.16" Latitud Norte y 102° 41' 48.09" Longitud Oeste, a una Altitud de 1528 m.s.n.m (Google Earth, 2012).

Una vez obtenido el sustrato, este se precomposteo depositándolo en la cama por un lapso de 15 días para estabilizar las condiciones de temperatura, humedad y pH de la materia orgánica previo a la inoculación de la lombriz *Eisenia foetida*, tiempo en el cual se humedeció y aireo cada tercer día. Posteriormente se hizo una prueba de sobrevivencia para conocer si el sustrato era apto para la inoculación con la lombriz. En esta prueba se colocaron 50 lombrices en el centro de una caja de madera de 42.5 cm de largo por 32 cm de ancho y 18 cm de alto, en donde se depositó una porción del sustrato precomposteadado, el cual se humedeció. Posteriormente a las 24 h, se verificó la sobrevivencia de las lombrices. La prueba se repitió hasta que el 100% de las lombrices sobrevivieron, indicando que el alimento reunía las condiciones adecuadas para la inoculación, se adicionó 1 Kg/m² de lombrices (Flores y Vázquez, 2008).

5.2.2 Manejo de la cama de vermicomposteo

En esta parte del trabajo se continuó humedeciendo y aireando frecuentemente la cama, la cual se mantuvo tapada con una lona de tela para evitar la pérdida de lombrices por pájaros y roedores principalmente. Se hicieron mediciones periódicas de temperatura, la cual se realizó manualmente introduciendo un termómetro de mercurio (tipo tubo de vidrio de punta larga) al sustrato en cada

una de las secciones de la cama y registrando la lectura en una bitácora. Para el registro del pH y humedad, se hicieron de acuerdo a la NMX-FF-109-SCFI-2007.

5.2.3 Registro de datos

Cada 15 días se tomaron muestras al azar del sustrato durante el proceso de biodegradación. La cama fue seccionada en 5 partes (A, B, C, D, E). Para estos análisis se utilizó un muestreo al azar sin reemplazo, es decir, cada sección muestreada fue descartada para el siguiente muestreo, y así sucesivamente hasta completar las 5 secciones obtenidas al dividir la cama. Se tomaron 100 g de sustrato y se transfirieron a bolsas de plástico de polietileno, posteriormente se trasladaron en una hielera a 4°C hasta su análisis en condiciones asépticas.

5.2.4 Caracterización fisicoquímica

En esta fase se registró pH, humedad, densidad aparente, la conductividad eléctrica, cenizas, materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total, relación carbono-nitrógeno, capacidad de intercambio catiónico (NMX-FF-109-SCFI-2007), nitratos, ácidos fúlvicos y húmicos, respecto a la determinación de fósforo, potasio, se siguió el método de absorción atómica por digestión de HNO₃/HClO₄ (Etchevers, 1982).

5.2.5 Caracterización microbiológica

En esta parte se determinó la presencia de *Escherichia coli* utilizando el método de MUG + Fluorescencia (Jenkins et al., 1980), *Salmonella* ssp. (NOM-114-SSA1-1994), organismos coliformes totales (NOM-113-SSA1-1994), mohos y levaduras (NOM-111-SSA1-1994).

5.2.6 Índice de Germinación

Para determinar el Índice de Germinación (IG), se tomaron 5 muestras del sustrato cada 15 días durante el proceso de biodegradación, de cada una se tomaron 50 g los cuales se depositaron en matraces, por cada muestra se le adicionaron 100 mL de agua destilada, posteriormente se obtuvo el extracto líquido con una bomba de vacío (KOBLENZ CCP-134). Se prepararon 15 cajas petri por cada muestra y un control (agua), a las que se le colocó en el fondo un disco de papel filtro, a cada caja se le adicionó 10 semillas de rábano, y cada semilla fue humedecida con 1 mL de extracto líquido. Enseguida fueron incubadas a 25 °C (LAB-LINE 305), pasado 72 h se registró el porcentaje de germinación (% G) y se midió la longitud de la radícula (LR) en las cajas petri, además se midió la longitud de la radícula del control (agua), así como el registro del %G del control (Figura 2). Se calculó el IG de acuerdo a la metodología descrita por Gariglio et al., (2002), así también Mitelut y Popa (2011).

$$IG = LR * \%G / Lr \text{ agua} * \%G \text{ agua} * 100$$

Donde: IG= Porcentaje del índice de germinación

LR= Longitud de radícula

%G= Porcentaje de germinación

Lr agua= Longitud de radícula en agua (control)

%G agua= Porcentaje de germinación en agua (control)



Figura 2. Porcentaje de germinacion en semillas de rábano.

5.3 Etapa B: Valoración agronómica vermicompost

5.3.1 Efecto del vermicompost sobre el crecimiento del cultivo de pepino

5.3.2 Material genético

Se utilizó como material genético el cultivo de pepino de la variedad Carolina F-1 Híbrido.

5.3.3 Suelo y vermicompost sólido y líquido utilizado en el experimento

En el cuadro 8, se presentan los resultados obtenidos de las muestras compuestas de suelo, suelo + vermicompost y extracto líquido utilizados en el experimento. El suelo utilizado fue tipo vertisol de textura arcilloso de la localidad

de Jiquilpan, Michoacán, las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Nutrición Vegetal, Unidad Montecillos, del Colegio de Posgraduados.

Cuadro 8. Caracterización física y química del suelo, suelo más vermicompost y extracto líquido.

| Variable | Suelo | Mezcla de suelo con vermicompost | Vermicompost líquido |
|--------------------------|-----------|----------------------------------|----------------------|
| pH | 6.97 | 7.15 | 7.78 |
| C.E. (dS/m) | 1.61 | 1.32 | 2.65 |
| M.O. (%) | 0.13 | 0.09 | ----- |
| Nt (%) | 0.01 | 0.02 | 0.89 |
| C (%) | 0.07 | 0.05 | ----- |
| P (mg/kg) | 12.42 | 31.95 | 72.30 |
| K (mg/kg) | 125.12 | 613.62 | 115.07 |
| Textura | Arcilloso | Arcilloso | ----- |
| Dap (g/cm ³) | 1 | 0.9 | ----- |

5.3.4 Manejo del cultivo

Las semillas de pepino fueron sembradas en macetas de plástico de 4 L de capacidad, que contenían suelo o una mezcla, según el tratamiento, con vermicompost al 10% derivado del contenido ruminal. Las macetas se agruparon para formar parcelas experimentales de 8 macetas con 2 plantas cada una a las cuales se aplicaron los tratamientos.

Los tratamientos evaluados se derivaron de la combinación de dos factores. El factor A (vermicompost sólido), y el factor B (fertilización con vermicompost líquido). El factor A constó de 2 niveles, a1 formado con vermicompost sólido al 10% y suelo al 90% y a2 suelo sin vermicompost. El factor B constó de 4 niveles, b1=agua potable, b2= 50 % de fertilizante más 50% de vermicompost líquido, b3=100% de fertilizante y b4 100% de vermicompost líquido. De la combinación

de ambos factores se formaron 8 tratamientos (a1b1, a1b2, a1b3, a1b4, a2b1, a2b2, a2b3, a2b4).

Los factores se arreglaron en parcelas divididas en donde la parcela grande correspondió al factor A y la parcela chica al factor B. cada una con tres repeticiones (Figura 3).

Se fertilizó con la solución nutritiva de Steiner (1961) conteniendo 12.0, 1.0, 1.0, 5.0, 6.0 y 3.0 meq L⁻¹ de NO₃, H₂PO₄⁻², SO₄⁻², K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺, respectivamente, la cual se ajustó a un pH de 6.05 y a una conductividad eléctrica de 3.2 mS/cm.

El vermicompost líquido (VL), se derivó de un extracto del vermicompost sólido, colocando en un recipiente con capacidad de 200 L, 50 Kg de Vermicompost sólido y 150 L de agua. La mezcla se agitó durante 48 horas y se dejó reposar. Después se separó la parte líquida extraída y se mezcló con agua en tinacos, para aplicarlo a una dosis de 20 L de VL en 200 L de agua en T2, y 40 L en T4. Tanto la solución nutritiva como el vermicompost líquido se aplicaron por goteo junto con el agua de riego. En el riego por goteo se instaló un sistema fijo con depósitos de 200 L para la solución nutritiva, el agua y el vermicompost líquido, que se distribuyó a las plantas impulsada por una bomba centrífuga de 0.25 caballos de fuerza, a través de cinta regante colocada sobre las hileras de plantas y con goteros distanciados cada 20 cm (Vázquez y Méndez, 2009).

Con la solución nutritiva al 100% de nitrógeno se aplicaron 387.51 Kg de N ha⁻¹ y con la solución al 50%, se utilizaron 193.75 Kg de N ha⁻¹ durante los meses en que duró el experimento.

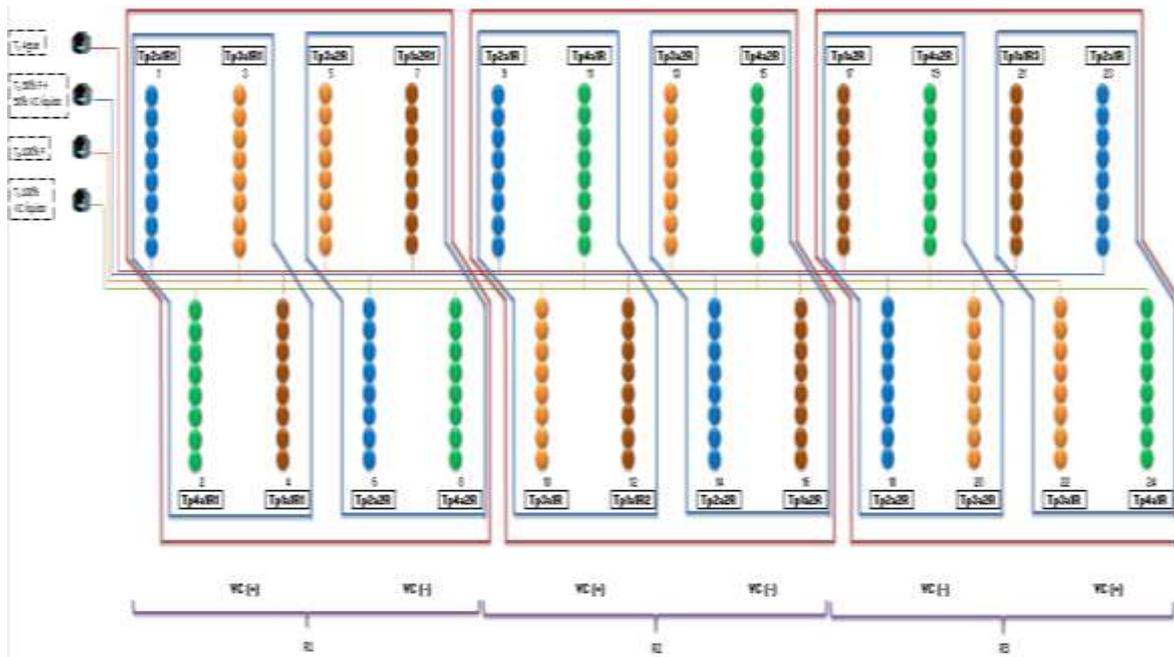


Figura 3. Croquis del experimento.

5.3.5 Registro de datos

Para evaluar el efecto de los tratamientos se registraron las siguientes variables: área foliar, tamaño de hojas, altura de la planta, peso fresco y peso seco de la planta, rendimiento de fruto. Además se midió el contenido nutrimental de nitrógeno, fósforo y potasio en hojas.

El área foliar se registró en 8 fechas durante el ciclo del cultivo en 6 plantas por tratamiento. Se utilizó un procedimiento no destructivo midiendo con una regla milimétrica el largo por ancho de cada hoja y multiplicado por un factor de corrección de 0.75. En esas mismas fechas se contó el número de hojas y su tamaño. El tamaño de hoja se determinó dividiendo el área foliar entre el número de hojas.

Para la altura de planta se utilizó una cinta métrica y se midió la altura desde la base de la raíz hasta la punta de la planta.

El peso fresco y seco total y de sus respectivos órganos raíz, tallos, peciolo, hojas y frutos. Para su determinación cada planta se extrajo cuidadosamente de las macetas, se realizó un lavado de la raíz y se eliminó el exceso de agua con servilletas absorbentes. El peso fresco y seco se midió con una balanza electrónica. Para el peso seco, las muestras se secaron en una estufa Craft, modelo: ESP, con circulación de aire forzado a 75 °C, por 72 h, hasta llevarlas a peso constante.

El análisis de nitrógeno, fósforo y potasio en hojas, se tomaron muestras de cada uno de los tratamientos en las tres repeticiones y se secaron en una estufa, marca Craft, modelo: ESP, con circulación de aire forzado a 75 °C, por 72 h, y posteriormente se molieron y tamizaron.

El rendimiento de fruto se hizo en todas las plantas de cada unidad experimental. Fue seleccionado el fruto de primera calidad, dicha selección agrupó a los frutos con un tamaño mediano a chico y apariencia de ser tiernos. Estos frutos son preferidos por el mercado local para consumirse en verde.

Para registrar el peso se utilizó una balanza electrónica con capacidad de 5000 g a 1g.

5.3.6 Análisis estadístico

Para el análisis de los datos se utilizó un análisis de varianza en función del diseño experimental utilizado. La comparación de medias se realizó con la prueba de la diferencias mínima significativas (DMS), con un valor de significancia de $\alpha = 0.05$, utilizando el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) 2002 versión 9.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Manejo de la cama de la lombriz

El mayor trabajo en la lombricultura es indudablemente el desarrollo de la lombriz, ya que si no se le proporcionan las condiciones necesarias difícilmente se adaptará al sustrato que se requiere para la biodegradación. El registro del pH, temperatura y humedad se hicieron cada 8 días, con el fin de mantener las condiciones apropiadas para la lombriz, y de este modo mantener activo el proceso de biodegradación.

6.2 pH

El pH inicial registrado fue de 8.5, no obstante, durante el tiempo la tendencia de este valor fue hacia la baja hasta alcanzar un valor de 7.1 (Figura 4), como resultado de la formación CO_2 y ácidos producidos durante el metabolismo microbiano (Aira y Domínguez, 2010). Estos valores están dentro de los mencionados por la norma NMX-FF-109-SCFI-2007 para vermicompost que indica como aceptable valores de pH entre 5.5 y 8.5. Capistrán et al. (1999) indican que las lombrices pueden desarrollarse entre pHs de 5 y 8, incluso Flores y Vázquez (2008) mencionan que las lombrices pueden soportar un pH de hasta 8.4, es decir, que soportan límites de pH ligeramente ácidos y ligeramente alcalinos, sin embargo, mencionan que un pH cercano a 7 es apropiado para el desarrollo óptimo de la lombriz. Así mismo Hernández et al., (2010) reportan valores de pH de 7.3 en el compost después de 25 semanas de biodegradarlo con lombriz.

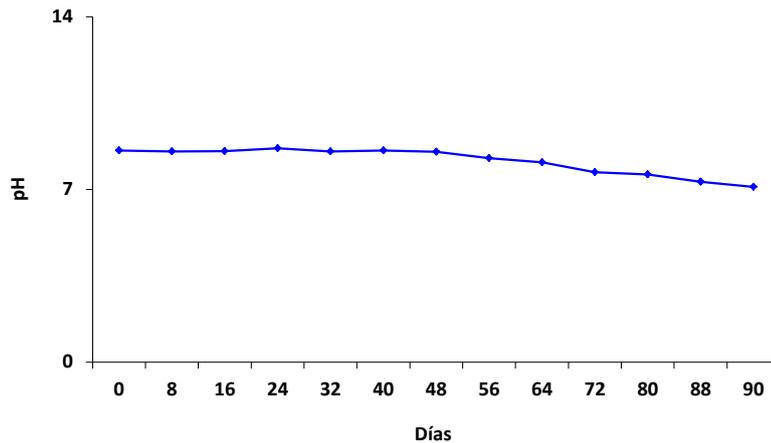


Figura 4. Variación del pH durante el vermicomposteo.

Esta adaptación a cambio bruscos de pH indican Capistrán et al., (1999), Flores y Vázquez, (2008), se debe a la capacidad amortiguadora del vermicompost que se genera en la biodegradación.

6.3 Temperatura

Se verificó que se mantuvieran las condiciones óptimas de temperatura para el desarrollo y adaptación de las lombrices, la cual osciló entre los 22 °C y 34 °C (Figura 5). Autores como Capistrán *et al.* (1999), Singh *et al.* (2004), Pandit et al., (2012) reportan que las lombrices toleran un amplio rango de temperaturas cuya variación alcanza valores menores a 20 °C y no mayores a 30 °C, e indican que fuera de estos rangos no pueden sobrevivir y reproducirse adecuadamente; sin embargo, Iñiguez (2002) menciona que a 31 °C las lombrices se aparean y se reproducen favorablemente más en aquellos países cercanos al trópico y que posean mayor cantidad de meses cálidos. Por su parte Garg y Gupta, (2011) midieron el efecto de la variación de temperatura en dos estaciones del año, y registraron un rango entre -2.7 a 35°C durante la temporada de invierno y de 18 °C a 44.4 °C durante la temporada de verano usando como sustrato para el vermicomposteo residuos sólidos domiciliarios en relación directa con la fecundidad de *Eisenia foetida*, concluyeron que el crecimiento y la reproducción

de las lombrices se ve afectado por las temperaturas ambientales, además de influir en la calidad y cantidad de la alimentación. En este estudio se observó que la variación de temperatura registrada no afectó el crecimiento y reproducción de las lombrices.

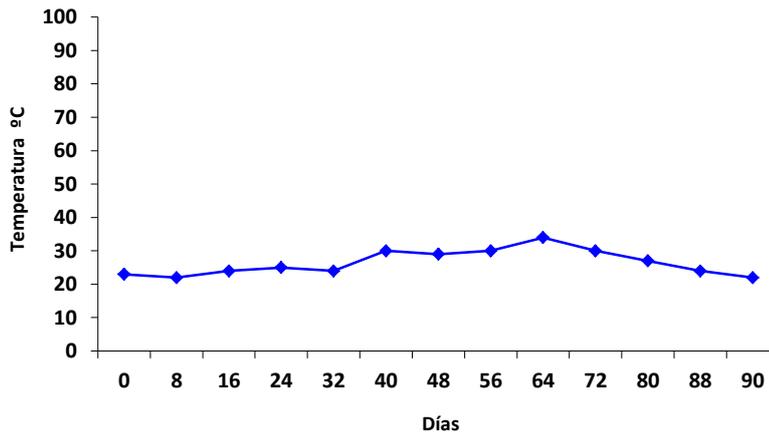


Figura 5. Variación de la temperatura durante el vermicomposteo.

6.4 Humedad

Respecto a la humedad, esta es esencial porque permite mantener la actividad metabólica de la lombriz, además, este factor es importante en la reproducción y fecundidad de los cocones de las lombrices, ya que si la humedad se dispara o baja bruscamente las lombrices corren el riesgo de morir, pero cuando los cambios se dan de manera lenta entran en un periodo de latencia lo que afecta considerablemente el proceso de biodegradación (Flores y Vázquez, 2008).

Aunque se registró una variación alta en el contenido de humedad, el sustrato utilizado en el vermicomposteo tuvo una humedad óptima cercana al 80% (Figura 6). Autores como Singh *et al.* (2004), reportan que una humedad de hasta el 85% aún es favorable para las lombrices.

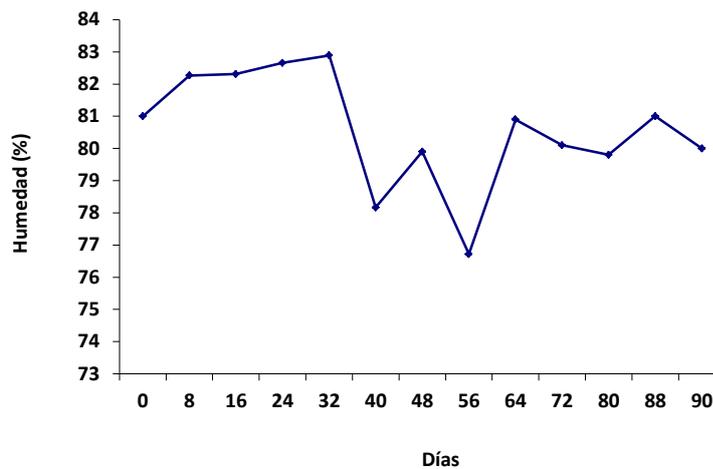


Figura 6. Variación de la humedad durante el vermicomposteo.

Jiménez (2008) por su parte, menciona que la humedad en la cama de las lombrices debe oscilar entre el 70 y 80%, sugiriendo un valor óptimo de 80 %. Así mismo, Durán y Henríquez (2007), reportan un valor de humedad de 77% como óptimo para el desarrollo de las lombrices.

6.5 Registro de variables físicas, químicas y microbiológicas durante el vermicomposteo del contenido ruminal.

6.5.1 Olor, color y consistencia

Los cambios en el olor, color y consistencia del contenido ruminal durante el tiempo de vermicomposteo se presentan en el cuadro 9. Se observa que el olor fue agradable ya a los 45 días de iniciado el proceso, hasta alcanzar su estabilidad a los 90. El color cambió de amarillo a café oscuro a los 75 días y se mantuvo estable a los 90. Por su parte, la consistencia inicialmente fue pastosa

con mucha humedad y a los 90 días el sustrato ya presentaba una consistencia menos húmeda.

Cuadro 9. Olor, color y consistencia del contenido ruminal durante su vermicomposteo.

| Característica | T ₁ 15 días | T ₂ 30 días | T ₃ 45 días | T ₄ 60 días | T ₅ 75 días | T ₆ 90 días |
|---------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Olor | Desagradable | Ligeramente desagradable | Agradable | Agradable | Agradable | Agradable |
| Color | Amarillo | Marrón oscuro | Marrón oscuro | Marrón oscuro | Café oscuro | Café oscuro |
| Consistencia | Pastoso | Semi-pastoso | Semi-pastoso | Semi-seco | Semi-seco | Seco |

Los indicadores físicos resultado de la estabilidad del material biodegradado confirieron al vermicompost una coloración café oscuro, sin olores desagradables, suave y seco, y con agregados que conforman el producto (Capistrán, et al., 1999; NMX-FF-109-SCFI-2007).

Las lombrices, al igual que los microorganismos aerobios, necesitan de oxígeno para realizar sus funciones (Capistrán et al., 1999; Domínguez y Pérez, 2010c), por lo que la aireación que se aplicó constantemente a la cama de lombriz contribuyó significativamente a la evolución favorable en la obtención de las características físicas de color, olor y consistencia.

Cabe destacar que las variaciones asociadas a los cambios físicos como el color, olor y consistencia cambiaron de acuerdo con las siguientes características (Domínguez et al., 2010b; Leveau y Boix, 2000; McLean et al., 2006, Melo, 2006; NMX-FF-109-SCFI-2007):

- Degradación química por acción del oxígeno ambiental al generar reacciones de óxido-reducción.
- Consumo de sustratos orgánicos por acción microbiana y generación de sustancias húmicas por acción de la lombriz

- Cambios asociados con la formación de agregados producidos por la lombriz en los cuales existe la presencia de sustancia húmicas.
- Reacciones de intercambio iónico e inactivación de compuesto aromáticos por acción microbiana.
- Maduración del vermicompost por acción de variaciones de coloración por degradación de compuestos cromogénicos generados por la lombriz y la degradación microbiana.

6.5.2 Características microbiológicas del contenido ruminal durante el vermicomposteo

Un criterio de calidad importante en el vermicompost es la ausencia de patógenos para humanos, debido a la probable contaminación de los alimentos que son producidos con compost de origen animal. En el cuadro 10 se muestran los análisis microbiológicos practicados al contenido ruminal durante el vermicomposteo, se observa que los organismos coliformes totales inicialmente registraron un valor de 2.70×10^6 UFC/g, y durante el periodo de biodegradación hasta su transformación en vermicompost, se obtuvo un recuento final de 5.75×10^1 UFC/g de vermicompost. También, se puede observar en este cuadro que hubo una disminución de los coliformes fecales durante el proceso, hasta obtener un recuento final de 3 NMP/100g. No obstante, que en el transcurso del proceso de biodegradación, se detectó en las primeras etapas la presencia de *E. Coli*, *Salmonella ssp.*, *Shigella ssp.*, estos patógenos se ausentaron al finalizar la biodegradación. Varios autores han reportado resultados similares en relación a la disminución de estos organismos patógenos en el vermicomposteo de estiércoles o incluso con heces humanas (Aira y Domínguez, 2010; Yakushev et al., 2011; Rodríguez et al., 2008b; Aira et al., 2007); sin embargo, existen muchos supuestos sobre las causas de esta disminución de organismos patógenos (Aira y Domínguez, 2010), mencionan que esta disminución se debe a que el sustrato procesado por las lombrices constituye un ambiente desfavorable para los

coliformes, lo cual es explicado por el decremento de carbono asimilable en el sustrato biodegradable causado por las lombrices, y también por la competencia por nutrientes que se establece entre los coliformes y otros miembros de la comunidad microbiana. Otros autores (Domínguez et al., 2003; NMX-FF-109-SCFI-2007; Yakushev et al., 2011), señalan que la muerte de estos patógenos se debe principalmente a la secreción de fluidos en el intestino de la lombriz, los cuales son sometidos a antagonismo durante el proceso de biodegradación con sustancias antimicrobianas que se generan en el tracto digestivo de la lombriz, al mismo tiempo que se modifica la diversidad y actividad microbianas, pues se estima que el tracto digestivo posee una flora microbiana que alcanza los 500 mil millones de microorganismos.

Con respecto a mohos, el registro inicial fue de 2.33×10^5 UFC/g y al final del tratamiento en el vermicomposteo se observó una pérdida de 3 logaritmos, y en el caso de levaduras se registró un recuento inicial de 3.46×10^5 UFC/g y al final se observó una pérdida de 3 logaritmos.

En cuanto a la presencia de huevos de helmintos al inicio se registraron 105 huevos por campo en la evaluación, para posteriormente desaparecer al final del proceso de biodegradación. Como resultado, se descarta la presencia de helmintos como *Ascaris Lumbricoides*, *Taenia ssp.* y *Criptosporidium parvum*, que se consideran agentes causantes de enfermedades parasitarias con altos índices de transmisión en los alimentos por contaminación fecal. Esta disminución según Fernández (2000), se atribuye a la pérdida de viabilidad de los huevos en el vermicompost, y por no haber un ambiente adecuado para su desarrollo, estos sucumben durante la maduración del vermicompost.

Cuadro 10. Caracterización microbiológica del contenido ruminal durante el vermicomposteo.

| Variable | Día inicial | 90 días |
|---------------------------------------|--------------------|--------------------|
| Organismos Coliformes Totales (UFC/g) | 2.70×10^6 | 5.75×10^1 |
| Coliformes Fecales (NMP/100g) | 5.48 | 3 |
| Mohos (UFC/g) | 2.33×10^5 | 3.01×10^3 |
| Levaduras (UFC/g) | 3.46×10^5 | 2.03×10^3 |
| Escherichia coli | Presente | Ausente |
| Salmonella ssp. | Presente | Ausente |
| Shigellasp. | Presente | Ausente |
| H. helmintos (XC) | 105 | Ausente |

En cuanto a los recuentos de hongos y levaduras, inicialmente fueron altos debido a la presencia de sustratos que favorecían su desarrollo, sin embargo durante el transcurso del vermicomposteo se observó una disminución notable en comparación con el recuento inicial (Moreno y Mormeneo, 2008; Domínguez et al., 2003; Lores et al., 2006).

Olivares (2003) reporta que durante la fertilización de suelo con estiércol de bovino los factores ambientales como la temperatura y la competición de sustratos entre los microorganismos propios del suelo causan la pérdida de viabilidad de los OCT, en un estudio similar realizado por Duran y Henríquez (2010), consideran que las características físicoquímica influye directamente en el desarrollo de microorganismos durante el proceso de maduración de los vermicompost.

Así mismo Labrador (2001), postula que el sustrato ingerido por la lombriz, sufre transformaciones considerables durante su paso por el tubo digestivo, esto al mezclarse con compuestos minerales, microorganismos y fermentos que inducen la transformación bioquímica del sustrato inicial, lo que acelera la humificación en el proceso de activación metabólica microbiana y vegetal mediante la generación de fitohormonas.

Cabe destacar que durante el proceso de biodegradación generado por *Eisenia foetida* se producen compuestos con actividad antagónica para los patógenos. La lombriz posee una respuesta sensorial a cambios físicos en el sustrato, razón por la cual secreta calcio de sus glándulas calcífugas de su intestino con el fin de neutralizar ácidos del sustrato y actuar como bactericida natural dentro de su tracto intestinal además de producir colágenos en su cuerpo actuando bacteriostáticos o bactericidas en el sustrato (Caraveo, 2010; Labrador, 2001; Pérez et al., 2005).

6.5.3 Características físicas y química del contenido ruminal durante el vermicomposteo

La evaluación física y química de abonos orgánicos destinados a uso agrícola como el vermicompost nos permite conocer las propiedades con las que cuenta, ya que ayudan a mejorar las características del suelo y por tanto promover el crecimiento de las plantas, absorción de nutrimentos, retención de humedad, incremento de la porosidad así como la eliminación de patógenos propios del suelo (Salazar et al., 2003). Tomando en cuenta lo anterior, en nuestro trabajo se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en el cuadro 11.

Cuadro 11. Caracterización física y química del contenido ruminal.

| Variable | Día inicial | 90 días |
|---|-------------|---------|
| pH | 7.95 | 7.43 |
| Humedad (%) | 85.03 | 41.76 |
| Densidad aparente (g mL ⁻¹) | ND | 0.51 |
| Conductividad Eléctrica (dS m ⁻¹) | 3.08 | 1.64 |
| Ácidos húmicos (%) | 6.42 | 8.23 |
| Carbono orgánico (%) | 14.21 | 18.81 |
| Cenizas (%) | 27.25 | 28.32 |
| Nitrógeno Total (%) | ND | 1.85 |
| Fósforo (%) | ND | 0.73 |
| Potasio (%) | ND | 0.33 |
| Nitratos(mg/kg) | 0.30 | 65.53 |
| Relación C/N | ND | 7.22 |
| Capacidad de Intercambio Catiónico (cmol kg ⁻¹) | 14.06 | 142.33 |
| Ácidos Fúlvicos (%) | 6.64 | 9.13 |
| Materia Orgánica (%) | 24.51 | 32.54 |

Como se observa en el Cuadro 11, el pH inicial fue de 7.95 el cual bajó a 7.43 al final del vermicomposteo. Otros estudios han reportado un decremento de los valores de pH durante el vermicomposteo (Khwairakpam y Bhargava 2009); lo cual se atribuye a la producción de CO₂ y ácidos orgánicos durante el metabolismo microbiano. Otros autores como Durán y Henríquez (2007), Nogales *et al.*, (2008), reportan valores de pH de 7.8 y 8.1, respectivamente en el producto final del vermicomposteo. Los valores de pH obtenidos en este estudio están dentro de los sugeridos por la NMX-FF-109-SCFI-2007, la cual establece valores en un rango entre 5.5 y 8.5.

Con respecto al porcentaje de humedad este fue variable durante el proceso de biodegradación, manteniéndose al final en un 41.76%. Es de destacar que este factor es importante para el desarrollo de microorganismos en el sustrato y por tanto en la disponibilidad de nutrimentos en el mismo (Singh *et al.*, 2004), además de ser un factor importante para el desarrollo y viabilidad de la lombriz. Al comparar este resultado con los valores sugeridos por la NMX-FF-109-SCFI-

2007, este se encuentra ligeramente arriba del recomendado por esta norma la cual indica valores de humedad entre 20 y 40%.

En el presente estudio se obtuvo una densidad aparente de 0.51 g mL^{-1} , un valor aceptable, acorde con la NMX-FF-109-SCFI-2007 que marca un rango de 0.40 a 0.90 g mL^{-1} . Hernández et al., (2008) caracterizaron físicamente por granulometría dos vermicompost derivados de estiércol de bovino puro y mezclado con residuos de fruto de palma aceitera, y obtuvieron una densidad aparente de 0.54 g/mL usando como biodegradador a *Eisenia foétida*. En cambio, Durán y Henríquez (2007), realizaron una caracterización fisicoquímica de cinco sustratos orgánicos (doméstico, estiércol, banano, ornamental y broza) biodegradándolos con *Eisenia foetida* obteniendo una densidad aparente promedio 0.45 g/mL . Esta variación en los valores de densidad aparente se atribuye principalmente al tipo de sustrato orgánico utilizado para el vermicomposteo. Su importancia radica en que la incorporación al suelo de materiales como el vermicompost con densidades adecuadas tendrá un efecto positivo sobre las propiedades físicas del mismo como su aireación, capacidad de retención de agua, metabolismo microbiano y en el rendimiento de cultivos (Capistrán et al., 1999; Tejeda et al., 2008).

La conductividad eléctrica resultante en el producto final vermicomposteo fue de 1.64 dSm^{-1} (Cuadro 11). Este valor está dentro del sugerido por la NMX-FF-109-SCFI-2007 de $\leq 4 \text{ dS m}^{-1}$. Lo cual indica que este vermicompost tiene un bajo contenido de sales solubles y es adecuado como enmienda agrícola o como sustrato para el crecimiento de plantas. Valores similares de 1.90 dSm^{-1} fueron obtenidos por Albanell et al., (1988) en vermicompost con estiércol de borrego, aunque el valor aumentó a 2.20 cuando se le adicionó desperdicios industriales de algodón. Otros autores como Capulin et al., (2011) obtuvieron valores de 2 dS m^{-1} en un vermicompost de estiércol de bovino, mientras que Nogales et al., (2008) reportaron una conductividad eléctrica de 6.6 dSm^{-1} en vermicompost derivado de estiércol vacuno, en tanto que Durán y Henríquez (2007) evaluaron cinco sustratos orgánicos obteniendo una conductividad eléctrica promedio de 0.8 dS m^{-1} usando a *Eisenia foetida* como agente biodegradador. Esta variación en

los valores de la conductividad eléctrica se atribuye al tipo de sustrato utilizado para elaborar el vermicompost.

Los ácidos húmicos y fúlvicos se clasifican como sustancias húmicas por tener la propiedad de generar reacciones de superficie con otros compuestos, formando así complejos ya sea directamente o a través de iones metálicos. Los quelatos se pueden formar con hierro, aluminio, zinc, manganeso, cobre o níquel, lo cual es importante en procesos de translocación, así como de inmovilización de metales tóxicos. Por otro lado, su función también es importante para la formación de complejos con metales pesados y herbicidas y compuestos orgánicos tóxicos y participan en su inmovilización y degradación o persistencia en el suelo (Porta et al., 2003). Los ácidos húmicos también participan en la biosíntesis de ácidos nucleicos así como producen efectos similares a los reguladores de crecimiento (Jiménez, 2008; Canellas et al., 2002).

Como se observa en el Cuadro 11, la concentración de ácidos húmicos y fúlvicos registraron un valor de 8.23% y 9.13% al final del vermicomposteo, valores muy superiores a los registrados al inicio en el contenido ruminal. En un estudio realizado por Irissón (1995) reportan contenidos en un rango de 15 a 30% en el vermicompost; sin embargo, Arancon et al. (2005) indica que una concentración del 17-36% de ácidos húmicos es aceptable para vermicompost derivados de sustratos orgánicos como materias primas para el mismo. Con respecto al valor de ácidos fúlvicos, en este trabajo se obtuvo un valor de 9.13% muy cercanos a los reportados por Irissón (1995) de 5 a 10%; no obstante, Arancon et al., (2005) indica que un valor entre el 13 y 30% de ácidos fúlvicos es aceptable. En cambio Nogales et al., (2008) reportan porcentajes de 0.9% de ácidos fúlvicos en vermicompost derivado de estiércol vacuno, muy por debajo del valor obtenido en este trabajo por lo que de acuerdo a los resultados obtenidos en nuestro trabajo, el vermicompost derivado del contenido ruminal tiene valores aceptables.

Cabe destacar que los ácidos húmicos y fúlvicos se clasifican como sustancias húmicas por tener la propiedad de generar reacciones de superficie con otros compuestos, formando complejos, ya sea directamente o a través de iones

metálicos. Los quelatos se pueden formar con hierro, aluminio, zinc, manganeso, cobre o níquel, por lo que es importante en procesos de translocación, así como de inmovilización de metales tóxicos. Por otro lado, también hay formación de complejos con productos fitosanitarios y participa en la inmovilización, degradación y persistencia en el suelo (Porta et al., 2003).

En cuanto al carbono orgánico, este resultó ser de 18.81 %, el cual es muy similar al valor reportado por Durán y Henríquez (2007) quienes evaluaron un vermicompost derivado de estiércol obteniendo con un valor de 19.2 % de carbono orgánico, en cambio Hernández et al., (2010) realizaron un estudio sobre el efecto del vermicompost y compost en la producción de lechuga y reportaron porcentaje del 24% de carbono orgánico. Así mismo Nogales et al., (2008) evaluaron cuatro vermicompost de los cuales uno fue un derivado de estiércol vacuno, mismo que registró un 25% de carbono orgánico. Por su parte Restrepo et al. (2010) obtuvieron de un vermicompost derivado de rumen de bovino 29 % de carbono orgánico.

Los resultados obtenidos para cenizas fueron de un valor de 28.32%, valor que supera ligeramente lo sugerido por Salazar et al., (2003), quienes mencionan que este contenido no deben ser superiores a 27%, debido a que un alto contenido de cenizas es un indicador de un manejo inadecuado del vermicomposteo por contaminación con tierra; sin embargo los valores obtenidos en este trabajo están muy cerca a los sugeridos por este autor.

Con respecto al nitrógeno (N) total, el vermicompost del contenido ruminal registró un valor de 1.85 %, valor que se ubica dentro de los valores sugeridos por la NMX-FF-109-SCFI-2007 de 1 a 4 %. Este resultado concuerda con lo reportado por Durán y Henríquez (2007), quienes reportan un valor de 1.8 % en un vermicompost derivado de estiércol; asimismo, Restrepo et al., (2010) reportan un valor de 1.77% de N total en un vermicompost derivado de rumen de bovino; en cambio Hernández et al., (2010), obtuvieron para N total un valor de 1.6 %, en un vermicompost utilizado para la producción de lechuga.

El análisis resultó en una concentración de nitratos en el vermicompost de 65.53 mg/kg, resultados que difieren mucho con los de Hernández et al., (2010), quienes obtuvieron valores de hasta 345 mg/kg en un vermicompost que utilizaron para la producción de lechuga.

El contenido de fósforo y de potasio en el contenido ruminal vermicompostado fue de 0.73 y 0.33 %, respectivamente, valores por debajo de los reportados por Restrepo et al. (2010), en vermicompost de rumen quienes obtuvieron valores para potasio de 1.27 % y de fósforo 1.01%. Así mismo Durán y Henríquez (2007) obtuvieron para potasio 1.1 % y para fósforo 2.0 %. En cambio Hernández et al., (2010) registraron valores más bajos en un vermicompost, 0.21 % para potasio y 0.014 % de fósforo, al igual que Márquez et al., (2008) alcanzaron registros para potasio de 0.43 % y 0.15 % de fósforo. Por los resultados anteriores se puede inferir que la composición y concentración de nutrimentos están en función del origen del sustrato utilizado. De acuerdo a lo anterior Moreno et al., (2005) evaluaron en Jitomate cuatro vermicompost derivados de estiércol de caballo y mezclas con forrajes y al caracterizar los cuatro tipos de vermicompost observaron una mayor concentración de materia orgánica, nitrógeno total en el vermicompost derivado del estiércol de caballo.

En cuanto a la relación carbono nitrógeno (C/N), se registró un valor de 7.22. Este valor está dentro de lo sugerido por la norma NMX-FF-109-SCFI-2007 al especificar una relación C/N mayor o igual a 20. No obstante, Durán y Henríquez (2007), evaluaron cinco sustratos orgánicos, entre los cuales se encontraba un derivado de estiércol en el cual dicha relación C/N fue de 10.9 y un promedio general de 8.42 en los cinco tratamientos evaluados. Así mismo, Hernández (2010) valoró el efecto del vermicompost y compost en la producción de lechuga y reporta una relación C/N de 15.5. No obstante, Nogales et al., (2008) evaluó cuatro vermicomposts, entre ellos el estiércol de ganado vacuno, obteniendo una relación de C/N de 17. Un resultado similar se presentó en un estudio realizado por Restrepo et al., (2010) quienes reportaron un valor de 17.8 en la relación C/N, utilizando como sustrato de vermicompost el contenido ruminal. La literatura hace mención que una relación promedio de C/N mayor a 30, genera problemas

de inmovilización microbiana del N en el suelo, por tanto no hay una liberación inmediata de nitrógeno aprovechable del sustrato, así mismo el proceso de vermicomposteo se alarga provocando oxidación del carbono y la relación C/N desciende, sin embargo una relación con valores entre 10 y 25 es un indicador de estabilidad en el compost (Peña et al. 2002; Sylvia et al., 2005). Por su parte Jiménez (2008) y Salazar et al. (2003), indican que cuando los valores de la relación C/N es más baja (9 a 13), hay una mayor disponibilidad de nitrógeno por lo que la planta lo absorbe más.

Otro requisito indispensable en la madurez del vermicompost es que la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de un vermicompost sea mayor de 40 cmol kg^{-1} (NMX-FF-109-SCFI-2007). En este trabajo se registró al inicio una CIC de 14 cmol kg^{-1} y subió a $142.33 \text{ cmol kg}^{-1}$ cuando el vermicompost maduró. Esta tendencia a la alta de la CIC se atribuye a la formación de ácidos húmicos que poseen una alta CIC. Estos ácidos también se incrementan como resultado de la transformación de la materia orgánica en sustancias húmicas. En un estudio similar Jiménez (2008) obtuvo una CIC entre 150 y 300 cmol kg^{-1} .

Con relación a la materia orgánica se obtuvo un valor de 32.54%, que de acuerdo a la norma mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007 es aceptable, debido a que ésta sugiere valores entre 20 y 40%. Salazar et al., (2003) hacen mención que los contenidos de materia orgánica en vermicompost deben ser mayores a 28%. Durán y Henríquez (2007) obtuvo como resultado en los análisis realizados a un vermicompost derivado de estiércol un 33.1 % en materia orgánica, lo cual es muy similar a los resultados obtenidos en este trabajo.

6.6 Índice de Germinación (IG)

El índice de germinación es una prueba biológica que mide la madurez del vermicompost y contribuye a la detección de la fitotoxicidad del sustrato, en el cual se determina la concentración de fenoles tóxicos y su sensibilidad para las

plantas, este indicador de la madurez es establecido mediante bioensayos de germinación. Por ello, esta prueba evalúa el proceso de maduración del vermicompost, al evaluar la estabilidad biológica y baja o inexistente fitotoxicidad del mismo (Varnero et al., 2007).

La figura 7, muestra los resultados del IG del contenido ruminal hasta su maduración. Se observa que el IG aumentó a través del tiempo conforme aumentó el proceso de vermicomposteo. El IG registró valores de 5.70 % al inicio y finalizó con un valor de 99.36 %. Esto puede deberse a un buen proceso de descomposición del contenido ruminal y a la reducción de compuestos fitotóxicos resultado de la maduración del vermicompost. Lo anterior concuerda con lo reportado por Tiquia y Tam (1998), en un trabajo sobre la eliminación de la fitotoxicidad durante la compostaje de estiércol de cerdo y desechos de lodos de cerdo en el cual obtuvieron un IG mayor a 80% que indicó la desaparición de fitotoxinas, en comparación con el control con agua destilada. Así mismo, en un estudio desarrollado por Zucconi et al. (1981) determinó el IG en semillas de berro de agua y menciona que un IG mayor o igual a 80% significa que no existen sustancias fitotóxicas y en cambio un IG menor o igual a 50% indica que el vermicompost tiene sustancias tóxicas que inhiben el crecimiento de las plantas.

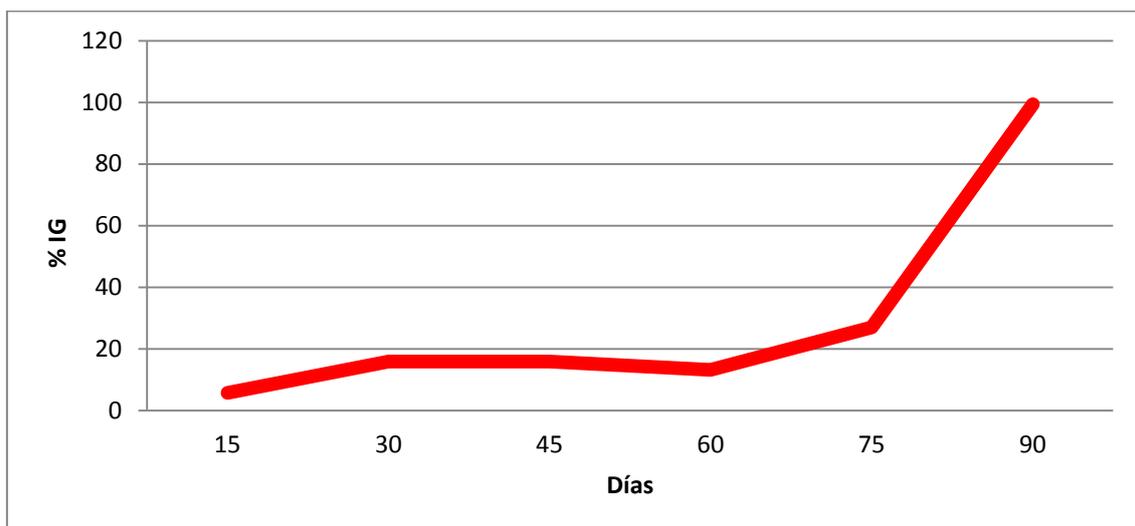


Figura 7. Índice de Germinación del contenido ruminal

En otro estudio realizado por Varnero et al., (2007) quienes evaluaron la sensibilidad de lechuga (*Lactuca sativa* var. Cuatro estaciones) y rabanito (*Raphanussativus* var. Cherry Bell) a extractos de residuos agroindustriales sometidos a compostaje, donde el rabanito resultó ser más sensible a los fitotóxicos presentes en dicho compostaje, concluyeron que el IG resultó ser una variable completa para evaluar el grado de madurez química para sustratos especializados en el uso agrícola.

6.7 Valoración agronómica del vermicompost

Como resultado de los análisis estadísticos practicados en función del diseño experimental factorial con arreglo en parcelas divididas, no se encontraron diferencias significativas de las interacciones entre los factores vermicompost sólido y vermicompost líquido, para ninguna variable. Por ello los resultados se discuten como factores por separado.

6.7.1 Efecto del vermicompost sólido sobre las variables de crecimiento

En el cuadro 12, se presenta el resultado del efecto de la aplicación al suelo de vermicompost sólido sobre las variables de crecimiento en el cultivo de pepino. Se observa claramente que hubo una tendencia hacia un incremento del área foliar (AF), tamaño de hoja (TH), peso fresco (PF) y peso seco (PS), cuando se aplicó vermicompost al suelo. Sin embargo, solo se registró diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) en la altura de planta con la aplicación de vermicompost. Los resultados anteriores concuerdan con varios autores quienes han obtenido incrementos significativos en variables del crecimiento como área foliar, altura de planta y peso seco en cultivos como fresa y tomate (Arancon y Edwards, 2005; Rodríguez, D. M., Cano, R. P., Figueroa V. U., Palomo G. A. y C. E. Favela.

(2008a) y Singh et al., (2012); perejil, espinacas, y en plantas ornamentales (Nazari et al., 2008), lo cual se atribuye como lo mencionan Arancon et al., (2007) al efecto de sustancias húmicas que tienen una acción hormonal, que se suma a un efecto indirecto relacionado con el metabolismo de microorganismos aportados por el vermicompost, que afectan la dinámica de absorción nutrimental del suelo y que a su vez afectan el crecimiento de la planta. Canellas et al., (2002) indican que las sustancias promotoras del crecimiento incrementan la emergencia de raíces laterales, elongación radicular. Por su parte Quaggiotti et al., (2004), muestran también evidencia de que las sustancias húmicas del vermicompost, estimulan la absorción de nitratos por la raíz y la acumulación de este anión en las hojas. Varios autores, entre ellos Glaser et al., (2002), reportan un incremento en la capacidad de intercambio catiónico, capacidad de almacenamiento de agua, entre otras características de los suelos donde se incorporó vermicompost, en comparación con suelos sin vermicompost. Autores como Moreno et al., (2005) y Nourbakhsh (2007), entre otros, resaltan la importancia del efecto que tienen los contenidos nutrimentales, como N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn en el vermicompost, sobre las variables del crecimiento.

Cuadro 12. Efecto del vermicompost sólido sobre las variables de crecimiento en pepino cv. Carolina.

| TRAT | AF (cm ²) | TH (cm ²) | AP (cm) | PF (g) | PS (g) |
|------|-----------------------|-----------------------|-----------|----------|----------|
| 1 | 1850.6 a* | 84.202 a | 122.795 a | 247.85 a | 29.350 a |
| 2 | 1525.5 a | 79.042 a | 111.392 b | 215.60 a | 24.758 a |
| CV | 26.04 | 13.02 | 9.85 | 32.52 | 33.38 |
| DMS | 413.88 | 10.012 | 10.864 | 70.944 | 8.5023 |

1= Tratamientos con vermicompost, 2= Tratamientos sin vermicompost. AF= Área foliar, TH= Tamaño de hoja, AP= Altura de planta, PF= Peso fresco, PS= Peso seco. CV= Coeficiente de Variación. DMS= Diferencia mínima significativa. Análisis de varianza (ANOVA) de un diseño de parcelas divididas. *Medias con distinta letra en una misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

6.7.2 Efecto del vermicompost sólido sobre los contenidos nutrimentales en hoja

En el cuadro 13, se presenta el contenido nutrimental de nitrógeno, fósforo y potasio (N, P, K) en las hojas de las plantas de pepino, y se observa que hubo una tendencia a una mayor concentración de N P y K en las hojas de plantas en que se aplicó vermicompost frente a las que no lo recibieron. Resultados similares fueron reportados por Arancon et al 2004 quienes obtuvieron mayores contenidos de en plantas de chile en comparación con plantas no tratadas. Sin embargo, varios autores como Arancon, et al (2007) y Moreno *et al.*, (2011), mencionan que el incremento del crecimiento y rendimiento de cultivos con vermicompost no está asociada a la gran disponibilidad de nutrientes como N P y K sino al efecto positivo sobre características físicas como la aireación y drenaje, incremento de microorganismos benéficos o a la presencia de sustancias reguladoras del crecimiento.

Cuadro 13. Contenido nutrimental (N, P, K) en hojas de pepino abonado con vermicompost sólido.

| TRAT | N (%) | P (mg kg ⁻¹) | K (mg kg ⁻¹) |
|------|-----------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | 4.1383 a* | 3267.9 a | 7847 a |
| 2 | 3.8483 a | 1921.2 a | 5188 a |
| CV | 18.49518 | 79.34022 | 76.53418 |
| DMS | 0.6953 | 1937.9 | 4695.8 |

1= Tratamientos con vermicompost, 2= Tratamientos sin vermicompost. N= Nitrógeno, P= Fosforo, K= Potasio. CV= Coeficiente de Variación. DMS= Diferencia mínima significativa. Análisis de varianza (ANOVA) de un diseño de parcelas divididas.*Medias con distinta letra en una misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

6.7.3 Efecto del vermicompost sólido sobre el rendimiento de fruto

En la figura 8 se observa que la aplicación de vermicompost sólido al suelo en una dosis de 10%, aumentó el peso de frutos de pepino en un 12% frente al tratamiento en que no se aplicó vermicompost. Sin embargo, las diferencias no son significativas.

La variación en el rendimiento de fruto de pepino se puede atribuir a las diferencias en el área foliar, tamaño de hoja, altura de planta y peso seco, y contenido de N, características con las cuales el rendimiento de fruto tuvo una correlación significativa (figura 8). Estas características a su vez fueron afectadas positivamente con la aplicación de vermicompost. Esta relación nos permite asumir que con el vermicompost se logró una mayor fuente de fotoasimilados y nutrientes. Varios autores como Galletta y Bringham (1990) han señalado que en cultivos como fresa, maíz y trigo (Hirel, et al., 2005, Kichey et al., 2006), es importante tener una adecuada fuente de fotoasimilados y nutrientes, representada principalmente por el área foliar, a fin de abastecer la demanda impuesta por las partes reproductivas ya que la mayor parte de nutrimentos como el nitrógeno en los frutos son provistos del nitrógeno preexistente en las hojas, tallos y vainas.

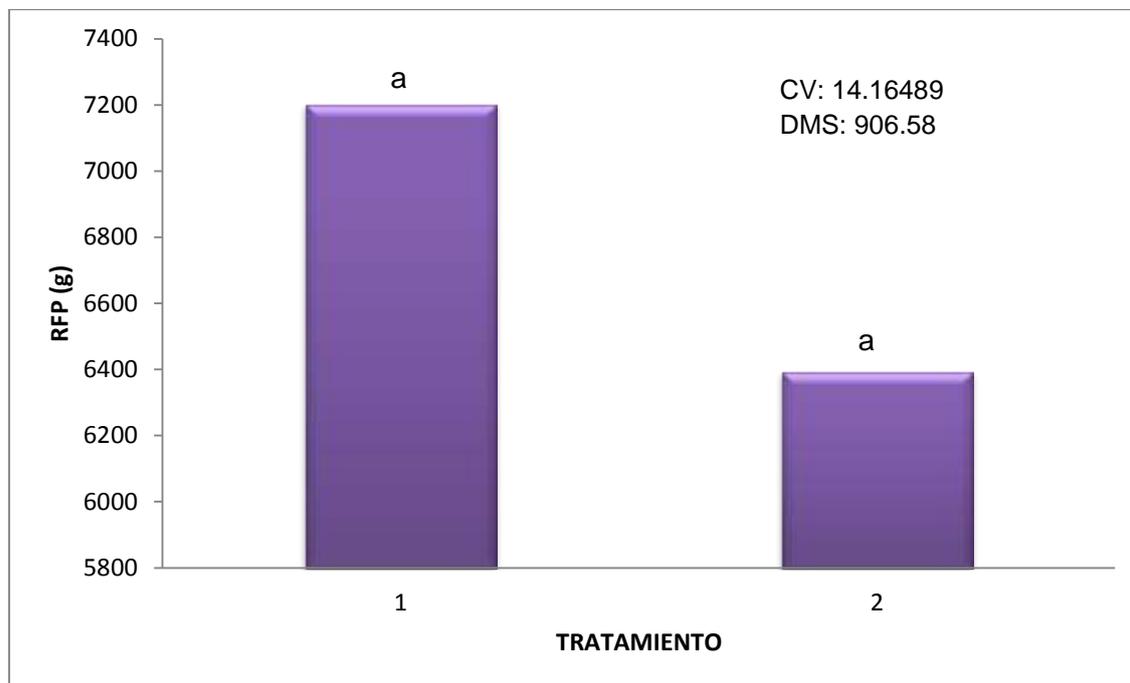


Figura 8. Efecto del vermicompost sólido sobre el rendimiento de fruto de pepino. 1= Tratamientos con vermicompost, 2= Tratamientos sin vermicompost. RFP= Rendimiento de fruto de primera calidad. CV= Coeficiente de Variación. DMS= Diferencia mínima significativa. Análisis de varianza (ANOVA) de un diseño de parcelas divididas.*Medias con distinta letra en una misma columnas son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

6.7.4 Efecto del vermicompost líquido sobre las variables de crecimiento

Los resultados del efecto del vermicompost líquido sobre las variables de crecimiento se indican en la cuadro 14. La aplicación en riego por goteo del extracto o te de vermicompost (T4) como una solución nutritiva, no tuvo efecto significativo sobre las variables de crecimiento al compararlas con agua (T1). La solución nutritiva al 100% (T3) y la solución nutritiva al 50% mas vermicompost líquido (T4) superaron estadísticamente a T1 y T4; sin embargo, dado que T1 es

estadísticamente igual a T4 no se puede atribuir en T2 ningún efecto aditivo del vermicompost líquido sobre la respuesta de las variables del crecimiento. En promedio T2 y T3 produjeron significativamente 117%, 32%, 25%, 74% y 41% más AF, TH, AP, PF y PS, respectivamente que T1 y T4. Estos resultados no coinciden con los reportados por Pant et al., (2012) quienes reportan que el extracto o te de vermicompost incrementó significativamente el peso seco, peso fresco, área foliar, número de hojas y altura de plantas de col china frente al control.

Cuadro 14. Efecto del vermicompost líquido sobre las variables de crecimiento en pepino.

| TRAT | AF (cm ²) | TH (cm ²) | AP (cm) | PF (g) | PS (g) |
|------|-----------------------|-----------------------|------------|----------|----------|
| T1 | 993.0 b* | 68.490 b | 97.340 b | 111.79 b | 13.965 b |
| T2 | 2255.4 a | 87.998 ab | 131.226 a | 346.92 a | 38.465 a |
| T3 | 2366.8 a | 98.192 a | 128.340 a | 331.13 a | 38.017 a |
| T4 | 1136.9 b | 71.807 b | 111.469 ab | 137.08 b | 17.770 b |
| CV | 26.04388 | 13.02935 | 9.855243 | 32.52043 | 33.38270 |
| DMS | 812.83 | 19.662 | 21.336 | 139.33 | 16.698 |

T1= Agua, T2= Fertilización al 50% (Solución Steiner) + Vermicompost líquido al 50%, T3= Fertilización al 100% (Solución Steiner), T4= Vermicompost líquido al 100%. AF= Área foliar, TH= Tamaño de hoja, AP= Altura de planta, PF= Peso fresco, PS= Peso seco. CV= Coeficiente de Variación. DMS= Diferencia mínima significativa. Análisis de varianza (ANOVA) de un diseño de parcelas divididas. *Medias con distinta letra en una misma columnas son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Así mismo (Arteaga et al., 2006) indicaron que en evaluaciones realizadas en un cultivo de tomate variedad Amalia, en dos momentos diferentes del crecimiento y desarrollo, se apreció que los tratamientos con vermicompost líquido en concentraciones 1:30 y 1:40, (vermicompost:agua) provocaron una bioestimulación significativa en los indicadores biológicos evaluados con respecto al control, registrándose un incremento en los tallos, diámetro de las plantas, número de hojas, área foliar, y mayor masa seca que el control.

6.7.5 Efecto del vermicompost líquido sobre los contenidos nutrimentales en hoja

En relación con el efecto del vermicompost líquido sobre el contenido nutrimental (N, P, K) en las hojas de pepino, se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) en las variables evaluadas (Cuadro15), dichas diferencias se dieron en el contenido de nitrógeno. Los tratamientos con mayor contenido de nitrógeno resultaron ser T2 y T3, superando estadísticamente a T4, y numéricamente a T1.

Cuadro 15. Contenido de nitrógeno, fósforo y potasio (N, P, K) en hojas de pepino abonado con vermicompost líquido.

| TRAT | N (%) | P (mg kg ⁻¹) | K (mg kg ⁻¹) |
|------|------------|--------------------------|--------------------------|
| T1 | 3.6517 ab* | 2663 a | 5724 a |
| T2 | 4.6700 a | 2088 a | 5777 a |
| T3 | 4.3783 ab | 3351 a | 9013 a |
| T4 | 3.2733 b | 2275 a | 5556 a |
| CV | 18.49518 | 79.34022 | 76.53418 |
| DMS | 1.3655 | 3806 | 9222.3 |

T1= Agua, T2= Fertilización al 50% (Solución Steiner) + Vermicompost líquido al 50%, T3= Fertilización al 100% (Solución Steiner), T4= Vermicompost líquido al 100%. N= Nitrógeno, P= Fosforo, K= Potasio. CV= Coeficiente de Variación. DMS= Diferencia mínima significativa. Análisis de varianza (ANOVA) de un diseño de parcelas divididas.*Medias con distinta letra en una misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Se hace hincapié que dependiendo del tipo de composición del residuo ha biodegradar, dependerán las características químicas del vermicompost obtenido, lo cual le dará distintas concentraciones de nutrientes, esto a su vez se verá reflejado en los órganos de la planta.

N, P, K, son nutrientes primarios que a la planta le proporcionan buena salud, y componentes esenciales de sus tejidos. Fue evidente la deficiencia de nitrógeno comparativamente entre las parcelas que no se les aplicó la solución Steiner (T1 y T4) frente a las que si se les aplicó (T2 y T3).

Los resultados expresados en la tabla anterior muestran que la diferencia estadísticas sobre el N si impactó en las plantas nutridas con la solución de

Steiner, debido a que hubo un mejor desarrollo. La deficiencia fue notoria en las plantas que no fueron nutridas adecuadamente, pues presentaron un desarrollo más lento comparado con las que se les regó con mayor cantidad de nitrógeno, además de una coloración verde con menor intensidad, finalmente este elemento repercutió en el rendimiento de frutos, área foliar, tamaño de hojas, altura de las plantas, destacando las parcelas alimentadas con la solución nutritiva.

Estos resultados, concuerdan con los que reporta Capulin et al., (2011), son las soluciones nutritivas de Steiner, las que mostraron diferencias significativas en las variables de crecimiento (altura de planta, tallo, peso fresco y peso seco), esto debido a la mayor concentración de sales nutritivas que afectaron el desarrollo y nutrición en plantas de jitomate, en comparación con otro tratamiento basado en un extracto de estiércol de bovino. Así mismo, autores como Knewtson et al., (2009) reportan un trabajo en el que el rendimiento de col fue significativamente mayor con fertilización que con te de compost, lo anterior lo atribuyeron a que los tes más que actuar como una fuente importante de nutrimentos, proporcionan al suelo una gran diversidad de microorganismos. En cambio Hargreaves et al., (2008), en un trabajo en fresa concluyeron que el té de vermicompost proveyó niveles de nutrimentos comparables a los de fertilizantes inorgánicos.

6.7.6 Efecto del vermicompost líquido sobre el rendimiento

Los resultados del efecto del vermicompost líquido sobre el rendimiento de fruto tuvieron una respuesta similar a las variables del crecimiento de la planta (Figura 9). La aplicación en riego por goteo del extracto o te de vermicompost (T4) como una solución nutritiva, no tuvo efecto significativo sobre las variables de crecimiento al compararlas con agua (T1). La solución nutritiva al 100% (T3) y la solución nutritiva al 50% mas vermicompost líquido (T4) superaron estadísticamente a T1 y T4; sin embargo, dado que T1 es estadísticamente igual a T4 no se puede atribuir en T2 ningún efecto aditivo del vermicompost líquido

sobre la respuesta del rendimiento de fruto. En promedio T2 y T3 rindieron 297%, casi tres veces más fruto más fruto que el promedio de T1 y T4. La nula diferencia en rendimiento entre la aplicación del extracto y el testigo agua se atribuye a que la composición nutrimental y microbiológica del extracto no fue adecuada como para marcar una diferencia entre estos dos tratamientos.

La variación en el rendimiento de fruto de pepino entre los tratamientos en que se aplicó una solución nutritiva (T2 y T3) frente a los que no la recibieron (T1 y T4) se puede atribuir a las diferencias en el área foliar, tamaño de hoja, altura de planta y peso seco, y contenido de N, características con las cuales el rendimiento de fruto tuvo una correlación significativa (Cuadro 16). Estas características a su vez fueron afectadas positivamente con la aplicación de una solución nutritiva que aportó las cantidades adecuadas de nutrimentos a las plantas en estos tratamientos. Esta relación también nos permite asumir que con las solución nutritiva, a diferencia de los tratamientos en que no se aplicó, se logró una mayor fuente de fotoasimilados y nutrientes para la formación del fruto (Ramírez *et al.*, 2011). Varios autores como Galletta y Bringham (1990) han señalado que en cultivos como fresa, maíz y trigo (Hirel, et al., 2005, Kichey et al., 2006), es importante tener una adecuada fuente de fotoasimilados y nutrientes, representada principalmente por el área foliar, a fin de abastecer la demanda impuesta por las partes reproductivas.

Cuadro 16. Correlación del rendimiento de fruto con las variables de crecimiento en pepino.

| Variable | N | AF | TH | AP | PF | PS |
|---------------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| r | 0.52 | 0.88 | 0.82 | 0.77 | 0.88 | 0.85 |
| Probabilidad | 0.0090 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 |

r=Correlación, N=Nitrógeno, AF=Área folia, TH=Tamaño de hoja, AP=Altura de planta, PF=Peso fresco, PS=Peso seco.

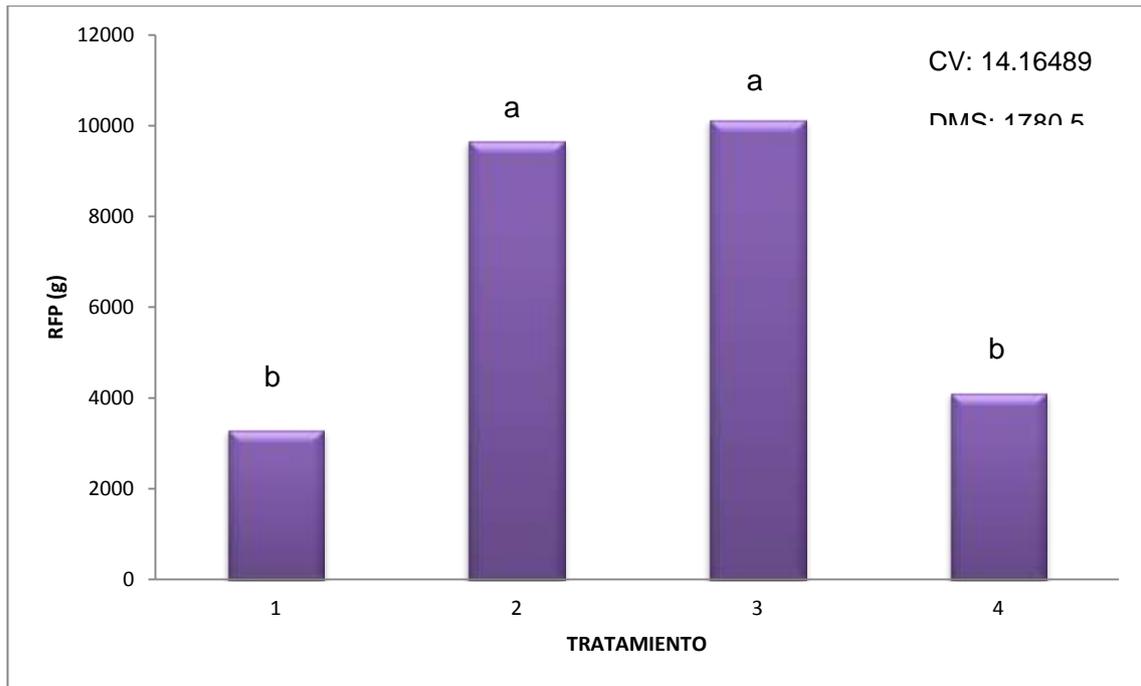


Figura 9. Efecto del vermicompost líquido sobre el rendimiento de fruto en pepino. 1= Agua, 2= Fertilización al 50% (Solución Steiner) + Vermicompost líquido al 50%, 3= Fertilización al 100% (Solución Steiner), 4= Vermicompost líquido al 100%. RFP= Rendimiento de fruto de primera calidad. CV= Coeficiente de Variación. DMS= Diferencia mínima significativa. Análisis de varianza (ANOVA) de un diseño de parcelas divididas. *Medias con distinta letra en una misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Estos resultados no concuerdan con lo reportado por Tejeda et al. (2008), quienes indican que la aplicación de extractos procedentes de procesos de lombricultura aumentó el rendimiento en el cultivo de tomate, suministrando así adecuadamente los macronutrientes necesarios para dicho cultivo.

7. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, el vermicomposteo del contenido ruminal por acción de *Eisenia foetida* permitió obtener un producto orgánico con características químicas, físicas y biológicas apropiadas, de tal forma que es factible reciclar con esta metodología un desecho orgánico que no es manejado adecuadamente y representa un peligro de salud pública. Este proceso además, disminuye significativamente los microorganismos y otros agentes relacionados con enfermedades para humanos como coliformes totales, *E. coli* y *Salmonella* ssp., *Shigella* ssp., y huevos de helmintos; por ello, su uso como un sustrato orgánico para la producción de hortalizas es inocuo.

La aplicación de este sustrato en forma sólida a plantas de pepino variedad Carolina, promovió las variables de crecimiento como área foliar, tamaño de hoja, altura de planta, peso fresco y seco las cuales favorecieron el rendimiento de fruto.

La aplicación en riego por goteo del extracto o te de vermicompost como una solución nutritiva, no tuvo efecto sobre las variables de crecimiento y rendimiento de fruto al compararlas con agua. En comparación con las soluciones nutritivas elaboradas con fertilizantes químicos, la aplicación del extracto fue superado significativamente en cuanto al rendimiento de fruto y variables del crecimiento.

8. PERSPECTIVAS

Con la factibilidad de mejorar los resultados de la valoración agronómica mostrados en este trabajo, se sugiere fraccionar en distintas dosis el vermicompost líquido, generando nuevos tratamientos para futuros experimentos, así como aplicaciones vía foliar. Así mismo, la modificación en la variación de porcentajes de los tratamientos manejados en este trabajo, generaran alternativas atrayentes en la obtención de mejores resultados.

La tendencia de lograr la sustentabilidad no solo en nuestro país, sino en el mundo, es un reto en el que se debe participar, con aportaciones de proyectos, mejoras en procesos o tecnologías ambientales, lo cual va encaminado hacia la aportación de conocimientos en la ciencia, sociedad y el ambiente.

9. LITERATURA CITADA

Acosta, Y., Paolini, J. y E. Benítez. (2004). Índice de humificación y prueba de fitotoxicidad en residuos orgánicos de uso agrícola potencial. Revista de la Facultad de Agronomía. 21 (4): 1-11.

Aira, M. y J. Domínguez. (2010). Las lombrices de tierra y los microorganismos: desentrañando la caja negra del vermicompostaje. Acta Zoológica Mexicana, 2 (26): 385-395.

Aira, M., Domínguez, J. Monoroy, F. and A. Velando. (2007). Stress promotes changes in resource allocation to growth and reproduction in a simultaneous hermaphrodite with indeterminate growth. Biological Journal of the Linnean Society, 4 (91): 593-600.

Arancon, Q. N., Edwards, A. C., Dick, R. and L. Dick. (2007). Vermicompost tea production and plant growth impacts. BioCycle, 51-52. Fecha de consulta: 01/enero/2013. Disponible en: http://www.growingsolutions.com/home/gs2/page_220

Arancon, Q. N. and A. C Edwards. (2005). Effects of vermicompost on plants growth. Paper presented during the International Symposium Workshop on Vermi Technologies for Developing Countries (ISWVT 2005). Philippines. 25 p.

Arteaga, M., Garcés, N., Guridi, F., Pino, J. A., López, A., Menéndez, J. L. y O. Cartaya. (2006). Evaluación de las aplicaciones foliares de humus líquido en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) var. Amalia en condiciones de producción. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), La Habana, Cuba. Cultivos Tropicales, 3 (27): 95-101.

Atiyeh, R, Lee, S., Edwards, C.A., Arancon, N. and J. Metzger. (2002). The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresource Technol.* 84:7-14.

Azarmi, R., Giglou, T. M. and R. D. Taleshmikail. (2008). Influence of vermicompost on soil chemical and physical properties in tomato (*Lycopersicum esculentum*) field. *African Journal of Biotechnology*, 7 (14): 2397-2401.

Edwards, C.A. and I. Burrows. (1988). The potential of earthworm composts as plant growth media. C.A. Edwards, E. Neuhauser (Eds.), *Earthworms in Waste and Environmental Management*, SPB Academic Press, The Hague, Netherlands, 391 p.

Blanco, M. (1999). Bacterias Ruminales. *Revista de Medicina Veterinaria* 4 (7):18-24.

Cabrera D. E. y M. J. A. Pérez. (1999). *Escherichia coli*. In: Universidad de Guadalajara (E. d.). *Agentes patógenos transmitidos por alimentos*. 1: 1775-2190. Universidad de Guadalajara, México.

Canellas Paqualoto, L., López Olivares, F., Okorokova Façanha, A. L and A. Rocha Façanha. (2002). Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma membrane H⁺-ATPase activity in maize root. *Plant Physiology*, 130: 1951-1957.

Capistrán, F., Arandas, E. y J. C. Romero. (1999). *Manual de Reciclaje, Compostaje y Lombricompostaje*. Instituto de Ecología, A. C., S y G editores. Primera edición. Xalapa, México. 151 p.

Capulin Grande, J. Mohedano Caballero, L., Sandoval Estarada, M. y J. C. Capulin Valencia. (2011). Estiércol bovino líquido y fertilizantes inorgánicos en el rendimiento de jitomate en un sistema hidropónico. *Revista Chapingo Ser. Horticultura*. 2 (17): 105-114.

Canet, R. y M. R. Albiacha. (2008). Aplicaciones del compost en Agricultura Ecológica. En: Moreno, J. y Moral, R. (Eds.). Compostaje. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. pp. 379-395.

Caraveo Domínguez, J. M. (2010). Fitosanidad e inocuidad en fresa y jitomate producidos con vermicompostas. Tesis de maestría, CIIDIR-IPN Unidad Michoacán, México. 116 p.

Casaca, A. D. (2005). El cultivo de pepino (*Cucumis sativus*). Edit. Promosta. 1ra. Edición. (15):1-13. Costa Rica.

Cepeda Patiño, L. A. y S. P. Valencia Cárdenas. (2007). Aislamiento de bacterias liposítias y determinación de patógenos humanos *Escherichia coli* y *Salmonella* sp. a partir de residuos orgánicos domiciliarios en compostaje. Tesis de licenciatura. Colombia. 105 p.

Cervantes Turribiates, L. A., Chalte Valencia, A. y K. Tapia Canacasco. (2008). Capacitación para el servicio de alimentación: Enfermedades Transmitidas por Alimentos (ETAs). Instituto Nacional de Ciencias Médica y Nutrición Salvador Zubiran, Secretaria de Educación Pública. México D. F. 46 p.

Chaverra Gil, H. y J. Bernal Eusse (2006). El ensilaje en la alimentación del ganado vacuno. Tercer mundo editores. Colombia. 161 p.

Díaz, D., Cova, L. J., Castro, A., García, E. D. y F. Perea. (2008). Dinámica del crecimiento y producción de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida* Sav.) en cuatro sustratos a base de estiércol bovino. *Agricultura Andina*. 15: 39-55.

Domínguez, J. and C. A. Edwards. (2011). Relationships between composting and vermicomposting. Taylor & Francis Group, LLC, Chapter 2:11-25. Fecha de consulta: 01/enero/2013. Disponible en: <http://webs.uvigo.es/jdguetz/wp->

content/uploads/2012/01/Relationships-between-Composting-and-Vermicomposting.pdf

Domínguez, J., Gómez-Brandón, M. y C. Lazcano. (2010a). Propiedades bioplaguicidas del vermicompost. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*. Instituto de Ecología, A.C., Xalapa, México, 2: 373-383.

Domínguez, J, Lazcano, C., y M. Gómez-Brandón. (2010b). Influencia del vermicompost en el crecimiento de las plantas, como auxinas, citoquinias. Aportes para la elaboración de un concepto objetivo. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 2: 359-371.

Domínguez, J. y M. Pérez Lozada. (2010c). *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) y *Eisenia andrei* Bouché, 1972 son dos especies diferentes de lombrices de tierra. *Acta Zoológica Mexicana (n.s)*, número especial 2: 321-331.

Domínguez, J., Parmelee, R. W. and C. A. Edwards. (2003). Interactions between *Eisenia andrei* (Oligochaeta) and nematode populations during vermicomposting. *Pedobiologia* 47: 53-60.

Durán-Umaña, L. y C. Henríquez-Henríquez. (2010). El vermicompost: su efecto en algunas propiedades del suelo y la respuesta en planta. Universidad de Costa Rica. Turrialba, Costa Rica. *Agronomía mesoamericana* 21(1):85-93.

Durán, L. y C. Henríquez. (2009). Crecimiento y reproducción de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense*, 33 (2): 275-281.

Durán, L. y C. Henríquez. (2007). Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense* 31(1): 41-51.

Etchevers Barra, J. D. 1982. Manual de Métodos para análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes. Análisis rutinarios en estudios y programas de fertilidad. Laboratorio de Fertilidad, Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados en Ciencia Agrícola, Montecillo, Edo. de México. 125 p.

Falla Cabrera, L. H. (1994). Capítulo 7: Desechos de matadero como alimento animal en Colombia. Frigorífico Guadalupe S. A., Santafé de Bogota, Colombia. Fecha de consulta: 11/enero/2013. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/AGA/AGAP/FRG/APH134/cap7.htm>

Fayed, T. A. (2010). Effect of compost tea and some antioxidant applications on leaf chemical constituents, yield and fruit quality of pomegranate. World Journal of Agricultural Sciences, 6 (4): 402-411.

Fernández, C., Llobregat, M. J., Bastidas, H. y S. Bonnie. (2009). Influencia de a Eisenia foetida y de sustratos orgánicos como agentes bioestimulantes en la biodegradación de un suelo contaminado con petróleo pesado. Información Tecnológica. 5 (20): 19-30.

Fernández-Escartín, E. (2000). Microbiología e inocuidad de los alimentos. Universidad Autónoma de Querétaro, México. Cap. 1: 13-54, Cap. 12: 217-232 y Cap. 29: 555-572.

Flores Magallón, R. y G. Vázquez Gálvez. (2008). Procesos de biodegradación de estiércol de bovino. Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR-IPN Unidad Michoacán, México. 21 p.

FSIS. Food Safety and Inspection Service. U.S. Department of Agriculture. (1996). Pathogen Reduction: Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) System; Final Rule. Federal Register. 61, 38806-38989.

Gariglio, N. F., Buyatti, M. A., Pilatti, R. A., Gonzalez Russia, D. E. and M. R. Acosta. (2002). Use of a germination bioassay to test compost maturity of willow

(*Salix* sp.) sawdust. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. 30: 135-139.

García Pérez, R. E. (2006). *La lombriz de tierra como una biotecnología en agricultura*. Universidad Autónoma Chapingo. Primera edición. Texcoco, México. 178 p.

Garg, V.K. and R. Gupta. (2011). Effect of Temperature Variations on Vermicomposting of Household Solid Waste and Fecundity of *Eisenia fetida*. *Bioremediation Journal*, 15 (3):165-172.

Gómez-Brandón, M., Lores, M. and J. Domínguez. (2012). Species-specific effects of epigeic earthworms on microbial community structure during first stages of decomposition of organic matter. *PLoS ONE*, 2 (7): 1-8.

Gómez D'Angelo, Y. T., González González, M. I. y S. C. Rubalcaba. (2004). Microorganismos presentes en el compost, importancia de su control sanitario. *Medio ambiente y Desarrollo*, 7: 1-9.

González García, J. L., Rodríguez Mendoza, M. N., Sánchez García, P. y E. A. Gaytán Acuña. (2009). Relación amonio/nitrato en la producción de hierbas aromáticas en hidroponía. *Agricultura Técnica en México*. 35 (1): 5-11.

Google Earth. 2012. CIIDIR-IPN Michoacán.

Gunadi, B. and Edwards, C. A. (2003). The effects of multiple applications of different organic wastes on the growth, fecundity and survival of *Eisenia fetida* (Savigny) (Lumbricidae). *Pedobiología*, 47: 321-329.

Hernández, A., Castillo, H., Ojeda, D., Arras, A., López, J. and E. Sánchez. (2010). Effect of Vermicompost and Compost on Lettuce Production. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 4 (70):583-589.

Hernández, A. J. A., Guerrero, L. F., Mármol, C. L. E., Bárcenas, B. J. M. y E. Salas. (2008). Caracterización física según granulometría de dos vermicompost derivados de estiércol bovino puro y mezclado con residuos de fruto de la palma aceitera. *Interciencia*, 33 (9): 668-671.

Ibarra-Sánchez, L. S., Alvarado-Casillas, S., Rodríguez-García, M.O., Martínez-González, N. E. and A. Castillo. (2004). Internalization of bacterial pathogens in tomatoes and their control by selected chemical. *Journal of food protection*. 67 (7): 1353-1358.

Iñiguez, G. C. (2002). Biodegradación de productos de origen animal no aptos para el consumo humano. Memorias del VI Congreso Nacional de ANEDOPCA. Puerto Vallarta, Jalisco. pp. 13-27.

Irissón, N. S. (1995). Calidad del abono y de la lombriz de tierra resultante del lombricompostaje de la pulpa de café. Tesis profesional. Facultad de Química Farmacéutica Biológica, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz, México. 85 p.

Jenkins, D., Connors, J. J. and A. E. Greenberg. (1980). Standard methods for the examination of water and wastewater. 15th edition. American Public Health Association. Washington, D.C. 1232 p.

Jiménez, M. V. (2008). Extractos de vermicomposta en la producción orgánica de lechuga en hidroponía. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo Texcoco, México. 104 p.

Kamande, G. M. (2006). Digestión ruminal y nutrición. *Producir XXI*, Bs. As., 15 (180): 52-57.

Kurian, R. and K. Velmourougane. (2011). Chemical and microbiological changes during vermicomposting of coffee pulp using exotic (*Eudrilus eugeniae*) and native earthworm (*Perionyx ceylanesis*) species. *Biodegradation*, 22: 497-507.

Labrador Moreno, J. (2001). La materia orgánica en los agroecosistemas. 2ª. Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 297 p. Fecha de consulta: 20 de noviembre de 2012. Disponible en: http://books.google.com.mx/books?id=EbmLHLY3qssC&pg=PA136&lpq=PA136&dq=glandulas+calc%C3%ADfugas&source=bl&ots=bJqiCVB6yH&sig=X0lasjCkytcvJjsgRVHUv6uBA4s&hl=es-419&sa=X&ei=t_bdUPO2Fcfi2QXKtoGQBA&sqj=2&ved=0CC0Q6AEwAA#v=onepage&q=glandulas%20calc%C3%ADfugas&f=false

Leveau J. Y. y Boix M. (2000). Microbiología Industrial “Los microorganismos de interés industrial”. Editorial Acribia S. A. Capítulo I. Pág. 33-62. Zaragoza, España.

López-Elías, J., Rodríguez, C. J., Huez, L. M. S., Garza, O. S., Jiménez, L. J. y E. I. Leyva. (2011). Producción y calidad de pepino (*Cucumissativus* L.) bajo condiciones de invernadero usando dos sistemas de poda. *DESIA (Chile)*,2 (29): 21-27.

Lores, M., Gómez-Brandón, M., Pérez-Díaz, D. and J. Domínguez. (2006). Using FAME profiles for the characterization of animal wastes and vermicomposts. *SoilBiology&Biochemistry*.38: 2993-2996.

Marinari, S., Masciandaro, G., Ceccanti, B. and S. Grego. (2000). Influence of organic and mineral fertilisers on soil biological and physical properties. *Bioresource Technology*, 72 (1): 9-17.

Márquez Hernández, C., Cano Ríos, P. y N. Rodríguez Dimas. (2008). Uso de sustratos orgánicos para la producción de tomate en invernadero. *Agricultura Técnica en México*. 34 (1): 69-74.

Melo López, L. (2006). Análisis y caracterización de ácidos fúlvicos y su interacción con algunos metales pesados. Tesis de licenciatura. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería. México. 89 p.

Mendoza Hernández, D. J. (2010). Vermicompost y compost de residuos hortícolas como componentes d sustratos para la producción de planta ornamental y aromática. Caracterización de los materiales y respuesta vegetal. Tesis de doctorado. Valencia, España. 455 p.

Mitelut, A. C. and M. E. Popa. (2011). Seed germination bioassay for toxicity evaluation of different composting biodegradable materials. *Romanian Biotechnological Letters*, 16 (1): 121-129.

Moreno-Pérez, E. C., Sánchez del Castillo, F., González-Molina, L., Pérez-Mercado, C. A. y N. Magaña-Lira. (2011). Efectos del volumen de sustrato y niveles de N-P-K en el crecimiento de plántulas de pepino. *Terra Latinoamericana*, 1 (29): 57-63.

Moreno J. y S. Mormeneo. (2008). Microbiología y bioquímica del proceso de compostaje. En: Moreno J. y Moral R. (Eds). *Compostaje*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid España. pp. 111-140.

Moreno Reséndez, A., Valdés Perezgasga, M. T. y T. Zarate López. (2005). Desarrollo de tomate en sustratos de vermicompost/arena bajo condiciones de invernadero. *Agricultura Técnica (Chile)*. 1 (65): 26-34.

McLean, M. A., Migge Kleian, S. and D. Parkinson. (2006). Earthworm invasions of ecosystems devoid of earthworms: effects on soil microbes. *Biol Invasions*, 8: 1257-1273.

Nogales, R., Domínguez, J. y S. Mato. (2008). Vermicompostaje. En: Moreno, J. y R. Mora. (Eds.). *Compostaje*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. pp. 187-207.

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

NOM-111-SSA1-1994. Norma oficial mexicana de bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos.

NOM-113-SSA1-1994. Norma oficial mexicana de bienes y servicios. Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa.

NOM-114-SSA1-1994. Norma oficial mexicana de bienes y servicios. Método para la determinación de salmonella en alimentos.

Nourbakhsh, F. (2007). Influence of vermicomposting on solid wastes decomposition kinetics in soils. *Journal of Zhejiang University Science B*, 8 (10): 725-730.

Olivares, C. R. C. (2003). Comportamiento de *Escherichia coli* O157:H7 durante el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*, L., variedad romana) en suelo fertilizado con estiércol de bovino. Tesis de la maestría en ciencias en los alimentos, Universidad de Guadalajara. 119 p.

Ortiz Cereceres, J., Sánchez del Castillo, F., Mendoza Castillo, M. C. y A. Torres García. (2009). Características deseables de plantas de pepino crecidas en invernadero e hidroponía en altas densidades de población. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 32 (4): 289-294.

Pandit, N. P., Ahmad, N. and S. K. Maheshwari. (2012). Vermicomposting Biotechnology: An Eco-Loving Approach for Recycling of Solid Organic Wastes into Valuable Biofertilizers. *J Biofertil Biopesticici*, 3: 1-8.

Pane, C., Celano, G., Vilecco, D. and M. Zaccardelli. (2012). Control of *Botrytis cinerea*, *Alternaria alternate* and *Pyrenochaeta lycopersici* on tomato with whey compost-tea applications. *Crop Protection*, 38: 80-86.

Pant, P. A., Radovich, K. J. T., Hue, V. N. and R. E. Paull. (2012). Biochemical properties of compost tea associated with compost quality and effects on pak choi growth. *Scientia Horticulturae*, 148: 138-146.

Pant, P. A., Radovich, K. J. T., Hue, V. N., Talcott, T. S. and K. A. Krenek. (2009). Vermicompost extracts influence growth, mineral nutrients, phytonutrients and antioxidant activity in pak choi (*Brassica rapa* cv. Bonsai, Chinensis group) grown under vermicompost and chemical fertiliser. *J Sci Food Agric*, Published online in Wiley Interscience, 89: 2383-2392. Fecha de consulta: 10/enero/2013. Disponible en:

[http://www.researchgate.net/publication/227730019_Vermicompost_extract_influence_growth_mineral_nutrients_phytonutrients_and_antioxidant_activity_in_pak_c_hoi_\(Brassica_rapa_cv._Bonsai_Chinensis_group\)_grown_under_vermicompost_and_chemical_fertiliser](http://www.researchgate.net/publication/227730019_Vermicompost_extract_influence_growth_mineral_nutrients_phytonutrients_and_antioxidant_activity_in_pak_c_hoi_(Brassica_rapa_cv._Bonsai_Chinensis_group)_grown_under_vermicompost_and_chemical_fertiliser)

Peña Turruella, E., Carrión Ramírez, M., Martínez, F., Rodríguez Nodals, A. y C. Nelso Companioni. (2002). Manual para la producción de abonos orgánicos en la agricultura urbana. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), en colaboración con INIFAT. Agustín García Marrero (Editor). Primera Edición. La Habana, Cuba. 65 p.

Pérez Losada, M., Bloch, R., Breinholt, W. J., Pfenninger, M. and J. Domínguez. (2011). Taxonomic assessment of Lumbricidae (Oligochaeta) earthworm genera using DNA barcodes. *European Journal Soil Biology* 48: 41-47.

Pérez Losada, M., Eiroa, J., Mato, S. and J. Domínguez. (2005). Phylogentic species delimitation of the earthworms *Eisenia fétida* (Savigny, 1826) and *Eisenia Andrei* Bouché, 1972 (Oligochaeta, Lumbricidae) based on mitochondrial and nuclear DNA sequences. *Pedobiologia*, 49: 317-324.

Porta, J., López, A. M. y C. Roquero. (2003). Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente. Editorial ediciones mundi-prensa, 3a. edición Madrid, España. 929 p.

Ramesh, P., Mohan, S. and Subba, R. A. (2005). Organic farming: Its relevance to the Indian context. *CurrentScience*. 88: 561.568.

Ramírez Castañeda, F., Gómez Piedras, J. J. y V. J. Flórez Roncancio. (2011). Evaluación del Fertilizante Orgánico Líquido de Lombriz San Rafael en el Cultivo de Rosa cv. Classy. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*. 64 (2): 6147-6157.

Restrepo Cadena, O., Díaz Salazar, D. M. y J. F. Arango Suarez. (2010). Efecto del contenido de rumen como sustrato en la composición físico química del lombricompost. Trabajo experimental. Instituto Tecnológico Agrícola. Bogotá Colombia. 4 p.

Rodríguez, D. M., Cano, R. P., Figueroa V. U., Palomo G. A. y C. E. Favela. (2008a). Producción de Tomate en Invernadero, con Humus de Lombriz como Sustrato. Sociedad Mexicana de Filogenética A. C. Chapingo, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 31 (3): 265-272.

Rodríguez, D. M., Torres, F. E., Gutiérrez, E. V. López, M. P., Martínez, M. M. y Carrascal, A. K. (2008b). Determinación de Salmonella Typhimurium en compost inoculado artificialmente empleado en un cultivo de lechuga. *Acta biol. Colomb. Bogotá, Colombia*. 13 (3):61-74.

Romero, L. M. R., Trinidad, S., García, E. A. y C. Ferrera. (2000). Producción de papa y biomasa microbiana en suelo con abonos orgánicos y minerales. *Agrociencia*. 34: 261-269.

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2007). Evolución de algunos indicadores del sector agroalimentario en México, antes y después del TLCAN. 17 p.

SAS (Statistical Analysis System). (2002). System for windows V. 9.0.

Salazar Sosa, E., Fortis Hernández, M. Vázquez Alarcón, A. y C. Vázquez Vázquez. (2003). Abonos orgánicos y plasticultura. Cap.1-5: 1-109. Facultad de Agricultura y Zootecnia de la UJED, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A. C. y COCyTED., Gómez Palacio, México.

Serrano, V. y Borri, T. (2007). Perspectiva ambiental, lombrices trabajando. Fundación TIERRA. 38 p.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2012a). Resumen nacional por cultivo. Fecha de consulta: 31/agosto/2012. Disponible en: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=346

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2012b). Resumen nacional por estado. Fecha de consulta: 31/agosto/2012. Disponible en http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=347

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2010). Pepino. Fecha de consulta: 31/agosto/2012. Disponible en http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=233&Itemid=90

Singh, R., Soni, S. K., Awasthi, A and A. Kalra. (2012). Evaluation of vermicompost doses for management of root-rot disease complex in *Coleus forskohlii* under organic field conditions. *Australasian Plant Pathology*, 41: 397-403.

Singh, N. B., Khare, A. K., Bhargava, D. S. and S. Bhattacharya. (2004). Optimum moisture requirement during vermicomposting using perionyx excavates. *Applied Ecology and Environmental Research*, 2 (1): 53-63

Spencer, J. L. and M. García. (2007). Resistance of chicks and pouts fed vermicompost to caecal colonization by *Salmonella*. *Avian Pathology*, 24 (1): 157-170.

Steiner, A. A. (1961). A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil*, 15 (2): 134-154.

Sylvia, M. D., Fuhrmann, J. J., Hartel, G. P. and D. A. Zuberer. (2005). Principles and applications of soil microbiology. Second Edition. Pearson, Prentice Hall. . Chapter 23: 587-605. New Jersey, E.U.A.

Tejeda, M., González, J. L., Hernández, M. T. and C. García. (2008). Agricultural use of leachates obtained from two different vermicomposting processes. *Bioresource Technology*. 99: 6228-6232.

Tiquia, S. M. y N. F. Y. Tam. (1998). Elimination of phytotoxicity during co-composting of spent pig-manure sawdust litter and pig sludge. *Bioresource Technology*. 65: 43-49.

Trillos E. (2007). Contenido Ruminal de Bovino. *Revista electrónica de Medicina Veterinaria*. 8 (14): 14-21.

Trejo T. L. I., Rodríguez M. Ma. N. Alcantar G. G. y A. A. Vázquez. (2003). Fertilización foliar específica para corregir deficiencias nutrimentales en tres tipos de suelo. *Terra Latinoamericana*. 3 (21): 365-372.

Uicab-Brito, L.A. y C. A. Sandoval Castro. (2003). Uso del contenido ruminal y algunos residuos de la industria cárnica en la elaboración de composta. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 2(2): 45-63.

Uribe, L., Arauz, L. F., Mata, M., Meneses, G. y L. Castro. (2009). Efecto del vermicompostaje sobre las poblaciones de *Colletotrichum acutatum* y *Pectobacterium carotovorum* presentes en residuos de plantas. *Agronomía Costarricense*, 33 (1): 91-101.

Varnero, M. M. T., Rojas, C. y R. Orellana. (2007). Índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje. *R. C. Suelo Nutr. Veg.* 7 (1): 28-37.

Vázquez Gálvez, G. y R. Flores Magallón. (2010). Evaluación del vermicompost producido del contenido ruminal de los rastros municipales como sustrato de cultivo en pepino y jitomate en invernadero. *Scientia-CUCBA*, 12 (1-2): 69-72.

Vázquez Gálvez, G. y C. Méndez Inocencio. (2009). Metodología para ahorrar agua en riego por goteo en el cultivo de la fresa. *Scientia-CUCBA* 11 (1-2): 51-56.

Vázquez Gálvez, G. y R. Flores Magallón. (2008). Guía sobre la utilización del vermicompost en el cultivo de hortalizas. Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR-IPN Unidad Michoacán, México. 33 p.

Villareal Romero, M., Parra Terraza, S., Sánchez Peña, P., Hernández Verdugo, S., Osuna-Enciso, T. y J. Basilio Heredia. (2110). Cobertura vegetal, vermicompost y actividad microbiana del suelo en la producción de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1 (2): 217-231.

Yañez R. J. N. (2002). Nutrición y regulación del crecimiento en hortalizas y frutales. Ed. Tecnología, Comercio y Servicios Agrícolas Mundiales. Saltillo Coahuila. 22 p.

Yakushev, A. V., Bubnov, I. A. and A. M. Semenov. (2011). Estimation of the Effects of Earthworms and Initial Substrates on the Bacterial Community in Vermicomposts. *Soil Biology. Eurasian Soil Science*. 44 (10): 1117-1124.

Zucconi, F., Pera, A., Forte, M. and M. Debertoli. (1981). Evaluating toxicity in immature compost. *Bicocycle*, 22: 54-57.