



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

---

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN  
EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS TABASCO**

POSTGRADO EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

**EVALUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE SUSTRATOS ORGÁNICOS PARA  
EL CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE CAÑA DE AZÚCAR.**

**MIRIAM ISELA DOMÍNGUEZ GAMAS**

**T E S I S**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS**

**H. CÁRDENAS, TABASCO**

**2013**

---




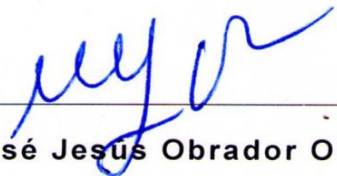
---


---

La presente tesis titulada: **Evaluación y caracterización de sustratos orgánicos para el crecimiento de plántulas de caña de azúcar**, realizada por la alumna **Miriam Isela Domínguez Gamas**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por la mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS  
PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO**

**CONSEJO PARTICULAR**

<b>Consejero</b>	 _____ <b>Dr. David Jesús Palma López</b>
<b>Asesor</b>	 _____ <b>Dr. Sergio Salgado García</b>
<b>Asesor</b>	 _____ <b>Dr. Octavio Ruiz Rosado</b>
<b>Asesor</b>	 _____ <b>Dr. José Jesús Obrador Olán</b>



**H. CÁRDENAS, TABASCO 31 DE ENERO DE 2013**

# **“EVALUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE SUSTRATOS ORGÁNICOS PARA EL CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE CAÑA DE AZÚCAR.”**

MIRIAM ISELA DOMINGUEZ GAMAS. M.C

Colegio de Postgraduados, 2013

## **RESUMEN**

La investigación de nuevos materiales para la formulación de mezclas que sirvan como sustrato o medio de crecimiento vegetal se ha constituido en una actividad fundamental. El objetivo de este trabajo fue evaluar la capacidad de diferentes tipos de vermicompostas, a fin de establecer su viabilidad como parte de un sustrato, para la siembra de dos variedades de caña de azúcar (CP-722086 y MEX-69290), a nivel de plántula. Se evaluaron, diferentes mezclas de residuos agroindustriales cachaza, bagazo, estiércol de ganado, cascarilla de cacao y biochard, los cuales fueron sometidos a vermicompostaje por 118 días. Al término del proceso se realizaron análisis químicos de las lombricompostas obtenidas, para su caracterización físico-química, en base a la norma de lombricompostas NMX-FF-109-SCFI-2008, los resultados indican, que sólo los tratamientos T1 (50%cachaza+25% de bagazo), T3(25%de cachaza+25%de bagazo+50% de estiércol de ganado), T4(50%cachaza+25% de bagazo+25% de cascarilla de cacao) y T6(50%cachaza+25% de bagazo+12.5% de estiércol de ganado +12.5% de cascarilla de cacao), cumplen los parámetros fisicoquímicos de esta norma. En base a los nueve sustratos orgánicos (lombricompostas) obtenidos se realizó un bioensayo con un diseño completamente al azar, con las dos variedades de caña de caña de azúcar. Las variables evaluadas fueron altura (cm), número de hojas, diámetro (cm) y materia seca (g) de las plántulas de caña de azúcar a los 116 días, análisis foliar (N, P y K) y análisis químico final de los sustratos (NMX-FF-109-SCFI-2008). Los resultados muestran que los contenidos de N, P y K son estadísticamente iguales entre tratamientos.

Palabras clave: Lombriz de tierra, *Eisenia fetida*, composta, vermicomposta

# **“EVALUATION AND CHARACTERIZATION OF ORGANIC SUBSTRATES FOR THE SEEDLING GROWTH OF SUGAR CANE”.**

MIRIAM ISELA DOMINGUEZ GAMAS. M.C

Colegio de Postgraduados, 2013

## **ABSTRACT**

The research of new materials for the formulation of mixtures that serve as substrate or plant growth medium has become a key activity. The aim of this study was to evaluate the ability of different types of vermicompostas, to establish its viability as part of a substrate for growing two varieties of sugarcane (CP-722 086 and MEX-69 290), level seedling. Were evaluated, different mixtures of cachaza agroindustrial wastes, bagasse, cattle manure, and biochar cocoa hulls, which were subjected to vermicomposting by 118 days. At the end of the process were conducted chemical analyzes of lombricompostas obtained for physicochemical characterization, based on lombricompostas standard NMX-FF-109-SCFI-2008, the results indicate that only the treatments T1 (50% rum bagasse +25%), T3 (25% +25% bagasse filter cake +50% cattle manure), T4 (50% +25% bagasse filter cake +25% cocoa husk) and T6 (50% cachaza bagasse+25%+12.5% +12.5 livestock manure% cocoa husk), physicochemical parameters meet this standard. Based on the nine organic substrates (lombricompostas) obtained a bioassay was performed with a completely randomized design, with two varieties of sugar cane. The variables studied were height (cm), number of leaves, diameter (cm) and dry matter (g) of sugar cane seedlings to 116 days, foliar analysis (N, P and K) and final chemical analysis substrates (NMX-FF-109-SCFI-2008). The results show that the contents of N, P and K are statistically different between treatments.

**Keywords:** Earthworm, *Eisenia fetida*, compost, vermicompost

## DEDICATORIA

*A mis amados padres*

*Miguel Ángel Domínguez De la cruz*

*Gertrudis Gamas Rodríguez*

*Por haberme dado el don de la vida, por sus enseñanzas, su fortaleza, humildad, su amor y por la esperanza que siempre han depositado en mí. Porque de ustedes he aprendido a entender que la vida es para algo más grande, que vale la pena arriesgarse, que los nobles ideales y el trabajo son los que forjan al hombre.*

*¡Les amo, Hoy y Siempre!*

*A Jorge, Fermín, Juan, Thania y Miguel.*

*Mis queridos y adorados hermanos, ustedes son los mejores que alguien como yo hubiera podido tener, además fueron y serán los amigos en quién puedo confiar. Gracias por las tristezas y sobre todo las alegrías que hemos y seguiremos compartiendo.*

*¡Dios les bendiga!*

*A mi esposo Jesús Manuel Méndez Adorno*

*Mi compañero y amigo de vida, quién estuvo y ha estado conmigo en todo momento, quien amo y doy Gracias por su apoyo, amor comprensión, por lo bellos y malos momentos que compartimos juntos durante la estancia en el Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco, a ti amor.*

*Te amo*

*Y en especial a mis Sobrinos Joshy, Jany, Dany, Juanita, Matías y Jenny.*

*Por el cariño que siempre me han brindado, por ser el presente y el futuro de la Familia.*

## AGRADECIMIENTOS

- *A Dios por el don de la vida, la sabiduría, paciencia y sobre todo por enseñarme que la búsqueda del conocimiento está en función del amor y el esfuerzo dedicado a la ciencia.*
- *A todos y cada uno de los mexicanos que, a través del Consejo nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para la realización de mis estudios de Maestría.*
- *Al Colegio de Postgraduados y a sus profesores, por permitir formarme académicamente. ¡Mil Gracias!*
- *Al grupo MASCATA-LPI-2: Agroecosistemas Sustentables, por el apoyo económico para concluir el presente trabajo.*
- *Muy en especial, a mi suegra, la Sra. Eleofina Adorno Ramos, por su apoyo incondicional, por los ánimos. ¡Mil Gracias!*
- *A mi consejero, Dr. David Jesús Palma López por ser el director y el principal colaborador, de este trabajo. Gracias, por su amabilidad, por su disposición, sus acertadas observaciones y por estar pendiente de este trabajo. Por su gran paciencia para conmigo. ¡Muchas Gracias!*
- *A mi asesor Dr. José Jesús Obrador Olán por sus sugerencias y por sus palabras de ánimo que constantemente me daba, su cooperación y palabras de aliento. ¡Gracias!*
- *A mi asesor Dr. Sergio Salgado García, por sus comentarios, sugerencias y motivaciones. ¡Gracias!*
- *A mi asesor externo, Dr. Octavio Ruiz Rosado, por su trato siempre tan amable, sus asesorías y tiempo que me dedicó, por sus prontas respuestas y por aportar su experiencia.*
- *Al personal del Campus Tabasco, a todos los que hicieron con su compañía más agradable mi paso por el Colegio, ¡Gracias, por todo!*
- *A todos y cada uno de mis compañeros de generación PROPAT 2011, por el placer de conocerles, por los buenos y malos momentos compartidos durante la estancia en el campus. ¡Mil Gracias!*

## CONTENIDO

	<b>Página</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	1
2. Planteamiento del problema.....	4
3. Objetivos .....	7
4. Hipótesis .....	7
5. Revisión de literatura.....	8
6. Literatura citada.....	41
<b>CAPITULO 1. CARACTERIZACION QUIMICA Y FISICA DE VERMICOMPOSTAS PRODUCIDAS A PARTIR DE CINCO SUSTRATOS ORGÁNICOS.</b> .....	46
1.1 Introducción.....	46
1.2 Materiales y métodos .....	48
1.3. Resultados y discusión.....	56
1.4 Conclusiones.....	69
1.5 Literatura citada.....	70
<b>CAPITULO 2. EVALUACION DE SUSTRATOS ORGÁNICOS PARA LA PRODUCCION DE PLÁNTULAS DE CAÑA DE AZUCAR EN EL TROPICO HUMEDO</b> .....	76
2.1 Introducción.....	76
2.2 Materiales y método .....	77
2.3. Resultados y discusión.....	81
2.4 Conclusiones.....	86
2.5 Literatura citada.....	86
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES</b> .....	89
1. Conclusiones.....	89
2. Recomendaciones.....	89

## LISTA DE CUADROS

	<b>Página</b>
Cuadro 1.1 Tratamientos conformados por residuos agroindustriales probados en el diseño experimental .....	52
Cuadro 1.2 Métodos utilizados en análisis químicos de sustratos orgánicos.....	54
Cuadro 1.3 Especificaciones Fisicoquímicas del Humus de Lombriz (Lombricomposta) de acuerdo a la norma NMX-FF-109-SCFI-2008 .....	55
Cuadro 1.4 Caracterización física de tratamientos, de acuerdo a la NMX-FF-109-SCFI-2008. ....	60
Cuadro 1.5 Resultados estadísticos, de los análisis químicos de los tratamientos de acuerdo a la norma NMX-FF-109-SCFI-2008. ....	62
Cuadro 1.6 Clasificación del pH, de acuerdo a la clasificación de la NOM-023-2000..	63
Cuadro 2.1 Origen de los residuos con que se produjeron los sustratos orgánicos obtenidos por vermicompostaje y el testigo comercial. ....	79
Cuadro 2.2 Métodos utilizados en análisis químicos de sustratos orgánicos.....	80
Cuadro 2.3 Análisis químicos de sustratos orgánicos obtenidos por vermicompost .....	81
Cuadro 2.4 Valores promedio de las características agronómicas determinadas en los tratamientos en la variedad CP-722086 .....	83
Cuadro 2.5 Valores promedio de las características agronómicas determinadas en los tratamientos en la variedad MEX.69-290 .....	83
Cuadro 2.6 Rangos críticos de nutrimentos para el cultivo de caña de azúcar.....	84
Cuadro 2.7 Contenidos nutrimentales en la biomasa seca de los tratamientos con diferente sustrato en la variedad CP-722086 .....	85
Cuadro 2.8 Contenidos nutrimentales en la biomasa seca de los tratamientos con diferente sustrato en la variedad MEX.69290.....	86



## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 1.1 Ubicación geográfica del área de.....	49
Figura 1.2 Colecta de Lombrices Eisena fétida a través de trampas. ....	53
Figura 1.3 Conteo inicial de lombrices .....	53
Figura 1.4 Colocación de trampas a cada unidad experimental para cosecha de lombrices .....	53
Figura 1.5 Conteo final de lombrices en cada unidad experimental.....	53
Figura 1.7 Molida y tamizada de los sustratos orgánicos, en el laboratorio de suelos del INIFAP.....	53
Figura 1.6 Secado de los sustratos orgánicos a temperatura ambiente.....	53
Figura 1.8 Comportamiento de la temperatura, como indicador de madurez, en el vermicompostaje de los residuos orgánicos.....	57
Figura 1.9 Comportamiento del pH, durante el proceso de vermicompostaje.....	58
Figura 1.10 Variación del número promedio de lombrices de E. fetida, en los tratamientos.....	59
Figura 1.11 Comportamiento del pH en los tratamientos evaluados, letras iguales indican medias estadísticamente similares. ....	64
Figura 1.12 Valores de medias conductividad eléctrica (salinidad) en los tratamientos, letras iguales indica que son medias estadísticamente similares.....	65
Figura 1.13 Contenidos de % de materia orgánica, letras iguales indican medias que son estadísticamente similares. ....	66
Figura 1.14 Comportamiento del nitrógeno total en los tratamientos, letras iguales indican que las medias son estadísticamente similares. ....	67
Figura 1.16 Comportamiento de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en los tratamientos, medias con letras iguales son similares estadísticamente. ....	69
Figura 2.1 Valores promedios de supervivencia, en yemas de caña de azúcar, por tratamiento en cada variedad.....	82

## 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La caña de azúcar es sin duda alguna, uno de los cultivos más rentables en el estado de Tabasco, es altamente generadora de divisas y mano de obra; y aun cuando sus rendimientos no son óptimos, genera ingresos importantes para quienes realizan esta actividad. (Valdez, *et. al.*, 2009). Los suelos cultivados con caña de azúcar, en México y en el estado de Tabasco, han sido sometidos a manejo intensivo para sostener la producción, el uso excesivo de fertilizantes y la mecanización son utilizados para aumentar la fertilidad de los suelos, lo que por consecuencia incide en la reducción de la materia orgánica del suelo, incremento de la erosión, reducción de la fertilidad y disminución de la densidad de poblaciones microbianas benéficas para el cultivo (Ruiz,1999).

Los diferentes sistemas de manejo agrícola en el cultivo han afectado de una u otra forma la actividad microbiológica del suelo. El paso de equipo por la plantación provoca problemas de compactación lo cual repercute negativamente sobre la población de microorganismos al afectar fuertemente el intercambio gaseoso, la aplicación constante de agroquímicos también ejerce un efecto detrimental sobre la actividad biológica del suelo, de allí que los procesos de mineralización de la materia orgánica, la solubilización de elementos adheridos en los coloides de suelo y la transformación de compuestos de formas no asimilables por las plantas (oxidación-reducción), que se llevan a cabo con la presencia de microorganismos que actúan en cada proceso, se ven afectados (Domínguez *et al.*,2010).

Actualmente se da gran importancia al uso de alternativas que permitan recuperar los suelos en los aspectos antes mencionados, de tal forma que se logre una producción óptima sin deterioro importante del medio. Dentro de estas alternativas se encuentra el uso de compostas o abonos orgánicos, biofertilizantes, abonos verdes y coberturas. Su aplicación ha permitido incrementar los contenidos de materia orgánica del suelo, mejorar su estructura, aumentar la actividad biológica, mejorar la fertilidad del suelo, favorecer el desarrollo radical y la biomasa de los cultivos y reducir el efecto de plagas

y fitopatógenos sobre la sanidad de los cultivos, lo que puede llegar a incrementar los rendimientos en términos altamente rentables (Pérez, *et al.*, 2011).

La incorporación de materia orgánica puede ser una alternativa para tratar suelos, ya sea humificada, como abono verde o como desechos agrícolas. La materia orgánica se aplica al suelo en forma de composta, con la idea de favorecer: la estructura del suelo y la disponibilidad de nutrientes para la planta, amortiguar el pH, fomentar el buen desarrollo de las plantas y por consiguiente esas plantas generarán frutos de buena calidad. La fertilización orgánica mejora entonces la fertilidad y la productividad en el suelo, además ayuda a restablecer la biodiversidad y la actividad microbiana en suelos degradados (Soto y Muschler, 2001; Félix *et al.*, 2010).

Los materiales orgánicos residuales, como los residuos de cosecha y los procedentes de la agroindustria, suelen terminar en el entorno y saturando las cadenas tróficas. Estos residuos pueden tener un excelente destino si son sometidos a compostaje y transformados en compostas, conocidas en inglés como “compost”, palabra que proviene del latín *composite* que significa mezcla para fertilizar o renovar la tierra (Iñiguez *et al.*, 2006). El producto del compostaje, es el resultado de la descomposición de los residuos orgánicos que una vez transformados en humus da lugar a un abono de alta calidad (Castillo *et al.*, 2000).

En diversas regiones cañeras del mundo, como Cuba, Brasil y México, se ha utilizado al subproducto de la industria cañera denominado cachaza en la fertilización del cultivo de caña, dejando de significar un estorbo y un foco de infección de microorganismos patógenos y convirtiéndose en un sustrato orgánico que contiene cantidades considerables de nutrimentos. Sin embargo una de las limitantes ha sido las altas dosis por hectárea que se tienen que aplicar para satisfacer la demanda nutrimental del cultivo, trayendo un alto costo, durante su transporte y aplicación (Arreola *et al.*, 2004).

Otra de las fuentes naturales de nutrientes en forma de coprolitos lo constituyen las deyecciones de animales (estiércoles), su efecto benéfico era conocido desde la antigüedad, en la actualidad los estiércoles son de uso predominante en la agricultura

(Salgado *et al.*, 2010). Además, la aplicación continua de estiércol al suelo incrementa significativamente el contenido de todas las forma de P en el suelo (Hao *et al.*, 2008).

Es conveniente entonces aprovechar los subproductos agroindustriales de una manera sustentable, tratando de sustituir con ellos, parcial o totalmente, la fertilización química convencional, por lo que el presente estudio plantea una opción en la utilización de los residuos agroindustriales (estiércol vacuno, cascarilla de cacao y carbón biológico, cachaza y bagazo), bajo condiciones semicontroladas, para la obtención de sustratos orgánicos por vermicompostaje, y conocer la respuesta de plántulas de caña de azúcar a su uso como sustrato en la etapa de vivero. Se denomina sustrato, a todo material o combinación de diferentes componentes que, no siendo tóxico, provea sostén, adecuada capacidad de intercambio catiónico, así como una adecuada retención de humedad para la planta que en éste crecerá, proveyendo también una porosidad que garantice una correcta aireación para un óptimo desarrollo radical.

Un componente importante de los sustratos es cualquier material individual, que mezclado en proporciones volumétricas con otros componentes, permita alcanzar un nivel adecuado de aireación, retención de agua y nutrientes para el crecimiento de plantas (Fonteno *et al.*, 2000).

Es conveniente entonces aprovechar los subproductos agroindustriales de una manera sustentable, tratando de sustituir con ellos, parcial o totalmente, la fertilización química convencional, por lo que el presente estudio plantea una opción en la utilización de los residuos agroindustriales (estiércol vacuno, cascarilla de cacao y carbón biológico, cachaza y bagazo), bajo condiciones semicontroladas, para la obtención de sustratos orgánicos por vermicompostaje, y conocer la respuesta de plántulas de caña de azúcar a su uso en etapa de vivero.

## 2. Planteamiento del problema

El cultivo de la caña de azúcar se caracteriza por extraer gran cantidad de nutrimentos del suelo en cada ciclo de cultivo, empobreciendo año con año a los suelos cultivados con caña. Diversos estudios han demostrado que el uso de sustratos orgánicos mejora la fertilidad del suelo y el rendimiento de los cultivos. Es por ello, que la fertilización, tanto en cantidad como en calidad, se hace cada vez más necesaria en cada ciclo, para así mantener el recurso suelo con un nivel de fertilidad aceptable (Salgado *et al.*, 2006).

La fertilización química se caracteriza porque los nutrimentos aplicados al suelo son liberados de manera inmediata para el cultivo. Sin embargo, los almacenes de nutrimentos del suelo se ven poco favorecido con la adición de fertilizantes químicos, y como el cultivo se nutre también del suelo, éste continúa empobreciéndose. Los sistemas agrícolas bajo condiciones normales necesitan sustituir los elementos que demandan a través de la aplicación de cantidades importante de fertilizante, para favorecer su aprovechamiento, es necesario considerar el uso racional de materiales orgánicos (rastros, hojarasca, abonos verdes etc.) que una vez descompuestos, constituyen la materia orgánica de suelo (MOS) (Del Valle-Arango, 2003; Fenn, 2006).

Por otro lado, la industria azucarera genera un gran volumen de residuos sólidos (principalmente bagazo y cachaza). Estos residuos al no ser manejados adecuadamente son una fuente de contaminación de suelo, agua y aire. Pérez (2011), señala que una alternativa para evitar la contaminación por residuos agroindustriales (como la cachaza y el bagazo) es el uso del compostaje, para que los desechos agroindustriales sean transformados en materiales útiles (abonos y/o fertilizantes orgánicos) que pueden ser reincorporados al sistema de producción de donde se originaron. Por ejemplo, la cachaza, es un residuo agroindustrial que se ha empleado como fuentes de nutrimentos y con el propósito de mejorar el rendimiento de los cultivos, a través de cambios favorables en las propiedades físicas y químicas del suelo (Pernalet *et al.*, 2008).

La materia cumple un ciclo que comienza cuando las plantas transforman la materia inorgánica del medio (agua, sales minerales, elementos nutritivos) en materia orgánica (MO) en forma de tejidos vivos, y continúa, en pasos sucesivos a través de los diferentes niveles tróficos (herbívoros y carnívoros), hasta los descomponedores: lombrices, insectos, microorganismos, que se encargan de cerrar el ciclo, manteniendo la fertilidad del suelo, al consumir MO, animal o vegetal, y degradarla o descomponerla en materia inorgánica y humus, aprovechables otra vez por las especies vegetales (Wurst *et al.*, 2003).

Dentro del suelo, la descomposición de la MO se debe principalmente a la actividad de macro y microorganismos, estos organismos también contribuyen a la cadena alimenticia de gran parte de la fauna del suelo (Hansen *et al.*, 2001; Trewavas, 2004). De hecho, el ciclo de la MO en la naturaleza con lleva el intercambio de diversos elementos entre las partes vivientes y no vivientes del ecosistema (Quintero-Lizaola *et al.*, 2003). La descomposición de la MO del suelo es la fuente principal de elementos nutritivos para la planta, especialmente en los ecosistemas con baja aplicación de insumos, como las praderas (Hodge *et al.*, 2000). En consecuencia, la disponibilidad de los elementos nutritivos en el suelo depende principalmente del proceso de descomposición de la MO (Jégou *et al.*, 2000).

Como resultado del proceso de compostaje, los residuos orgánicos son reciclados en productos estabilizados que pueden ser aplicados al suelo como una fuente de MO relativamente seca y sin olor, la cual podría responder más segura y eficientemente a los requerimientos de fertilidad orgánica del suelo que la incorporación de materiales frescos (Atiyeh *et al.*, 2000). Para acelerar el proceso de recuperación del suelo, muchos productores utilizan además de las fuentes frescas de MO, la elaboración y aplicación de abonos orgánicos como la composta y la lombricomposta o vermicomposta (Soto y Muñoz, 2002).

Cabe señalar que en los últimos años, los cultivos de caña de azúcar han presentado problemas sanitarios, lo que ha dado como consecuencia la disminución de tallos en las cepas (despoblación) de caña de azúcar. Una despoblación se considera a partir de una distancia de 40 cm entre cepa y cepa (Viveros, 2002). No todas las variedades de caña germinan igual, ahíjan igual o son plantadas con la calidad requerida del esqueje, o en las condiciones idóneas de preparación del suelo; por ello, existe la necesidad de resembrar o plantar en los espacios vacíos para lograr poblaciones con más del 95% de plantas por hectárea. Por lo anterior, la utilización de viveros (semilleros) ha sido una alternativa para la propagación de plántulas de caña (Salgado *et al.*, 2003).

La calidad de la semilla es un factor de gran influencia en la productividad de un cultivo de reproducción asexual y de naturaleza semiperenne como la caña de azúcar, siendo la presencia o la ausencia de enfermedades sistémicas una de las características que definen la aptitud de la simiente. Para el éxito o buena calidad de la semilla, se necesita de un soporte físico para el cultivo y una protección durante el periodo de vivero, de transporte y plantación (Cuenya *et al.*, 2007). Con base en lo anterior uno de los objetivos que pretende la presente investigación es desarrollar y probar diferentes sustratos a partir de residuos existentes en la región en el crecimiento de plántulas de dos variedades comerciales de caña de azúcar en la Chontalpa, Tabasco.

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo General**

- Evaluar compostas obtenidas a partir de diferentes residuos orgánicos como sustrato para la obtención de plántulas de caña de azúcar en condiciones de vivero en Tabasco.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- Elaborar lombricompostas a partir de diferentes residuos orgánicos existentes en el Plan Chontalpa, Tabasco.
- Caracterizar física y químicamente los diferentes sustratos orgánicos, obtenidos por lombricompostaje de acuerdo a la norma NMX-FF-109-SCFI-2008.
- Evaluar el crecimiento y desarrollo de plántulas de caña de azúcar de dos variedades (Mex-69290 y CP-75283) en las diferentes lombricompostas.

### **4. Hipótesis**

- Los residuos orgánicos (cachaza, bagazo, cascarilla de cacao, estiércol de ganado y biochar) pueden ser convertidos en sustratos orgánicos en condiciones de trópico húmedo.
- Existe al menos un sustrato obtenido a través del lombricompostaje que tiene la calidad suficiente para ser usado en vivero.
- Existe una respuesta diferenciada en el crecimiento y desarrollo de la plántula de caña de azúcar que está determinada por las diferentes lombricompostas.



## 5. Revisión de literatura

### 5.1 El cultivo de caña de azúcar.

La caña de azúcar es una de las especies de plantas terrestres más productivas, con alta producción de hojas y de tallos (caña integral) que en su madurez tiene la mitad de su biomasa en forma de fibra y azúcares. Potencialmente la caña puede producir, en total alrededor de 45 t de masa seca año ha<sup>-1</sup>; la parte aérea puede producir hasta 22 t azúcar año ha<sup>-1</sup> (Salgado *et al.*, 2003). La caña de azúcar, más que un cultivo y una actividad empresarial, ha representado toda una cultura para México, en virtud de que su presencia ha sido muy amplia e intensa desde el siglo XVI cuando ingresó al territorio nacional procedente de Cuba; la caña ha acompañado los procesos de colonización y desarrollo del país, y son muchas las formas y manifestaciones a través de las cuales esta planta y sus subproductos han intervenido en el quehacer del pueblo mexicano (FAO, 2006).

Cada una de las regiones cañeras de México posee características y condiciones productivas singulares que hacen que el potencial productivo, la expectativa de rendimientos agroindustriales y los costos de producción involucrados, varíen significativamente. En México, el cultivo de la caña de azúcar tiene una antigüedad de más de cuatro siglos y medio. Se cultiva en latitudes de 36.7°N y 31. 0°S, y desde el nivel del mar hasta los 1000 m de altitud o poco más. Se le considera una planta tropical. (Váldez *et al.*, 2009).

Marini *et al.* (2008) concluyeron que para la cultura de la caña de azúcar son cuatro factores básicos que pueden afectar el desarrollo agrícola regional: los procesos físicos, incluidos las condiciones edafoclimáticas regionales, los componentes estructurales que corresponde a los sistemas agrícolas y prácticas de gestión adoptadas, los efectos institucionales, que impliquen acciones gubernamentales que afectan a los precios, crédito, comercialización, e incentivos, e investigación y desarrollo, y los relacionados con innovaciones para aumentar la producción y resolver los problemas físicos que restringen las actividades relacionadas con la agricultura cañera.

La caña de azúcar es la principal fuente de azúcar en el mundo. Pertenece a la familia de las gramíneas (*Poaceae*) y al género *Saccharum*. Las variedades cultivadas comercialmente se les llama cañas nobles (Fauconnier y Bassereau, 1975, Salgado *et al.*, 2003).

### 5.1.1 Morfología de la caña de azúcar.

La caña de azúcar morfológicamente está formada por:

- **Raíces.** El crecimiento y desarrollo de la caña de azúcar depende en gran medida de su sistema radical. Las raíces del trozo de tallo proporcionan agua a la yema en crecimiento hasta el momento en que se forma el sistema radical del brote. Existían dudas de que las primeras le suministren cantidades significativas de nutrientes minerales. El trabajo de Carneiro *et al.* (1995), indica que el N del trozo de caña alimentó la plántula durante los primeros 50 a 60 días. En cultivo hidropónico, los fosfatos inorgánicos de la solución, no se mueven rápidamente de las raíces viejas a los brotes nuevos. La parte aérea de la caña está formada por tallos, hojas e inflorescencia (Bull y Glasziou, 1983).
- **Tallos.** Están formados por nudos y entrenudos de longitud entre 5 y 25 cm y hasta de 6 cm de diámetro (Figura 1). Los nudos se desarrollan aproximadamente cada 20 días. En cañas desarrolladas, la longitud total del tallo puede ser de 3 hasta 6 m. El tallo es el depósito donde se almacena el azúcar. La sección 8-10 del tallo es utilizada para determinar el estado nutrimental y el contenido de humedad al momento de la cosecha de la caña de azúcar. Normalmente el tallo no se ramifica, pero los brotes laterales y las raíces adventicias pueden ser inducidos por una humedad excesiva del suelo o por el exceso de humedad atmosférica como en épocas de lluvias prolongadas y presencia de calor (Salgado, *et al.*, 2003).
- **Hojas.** Las hojas se originan de los nudos, son alternas, alargadas y formadas por la vaina y el limbo. Están unidas por una articulación. La vaina es tubular,

envolvente, más ancha en su borde (Figura 1). El limbo tiene una nervadura central prominente y los bordes ligeramente dentados. La articulación entre la vaina y el limbo se llama collar y posee lígula y aurículas. El índice de área foliar no resulta muy afectado por las pérdidas bastante drásticas de los tallos. En términos generales, el índice de área foliar máximo de 8, se logra alrededor de los 6 a 8 meses después de la siembra, para luego descender lentamente, aunque este comportamiento puede alterarse por efecto de la variedad y de las condiciones adversas (Oliveira *et al.*, 2007).

- **Inflorescencia.** Cuando la planta de caña de azúcar alcanza un estado de relativa madurez en su desarrollo, el ápice de crecimiento puede, bajo ciertas condiciones de fotoperiodo y humedad del suelo, pasar del estado vegetativo al reproductivo. Esto significa que el ápice de crecimiento deja de formar primordios foliares y comienza a formar la inflorescencia. La caña de azúcar es una planta de día corto. Por lo tanto, en los trópicos puede fácilmente lograr condiciones fotoperiódicas.

La inflorescencia de la caña de azúcar, o bohordo floral, es una panoja ramificada. También es conocida como “flecha”. Por lo tanto a la floración también se le conoce como “flechadura”. Cada flecha está formada por miles de pequeñas flores, cada una capaz de producir una semilla. Para la producción comercial de caña de azúcar, el desarrollo de la inflorescencia tiene poca importancia económica. La floración es más importante para el cruzamiento y producción de variedades híbridas.

Generalmente, un fotoperiodo (día) de 12.5 horas y temperaturas nocturnas de 20 a 25°C desencadenarán la inducción floral. Condiciones óptimas de crecimiento durante la fase vegetativa (suelo fértil, aporte abundante de nitrógeno y agua) limitan la floración, en cuanto la ocurrencia de condiciones de estrés induce la formación de flores.

### 5.1.2 Comportamiento de la caña de azúcar ante las variables climáticas

Los principales componentes climáticos que controlan el crecimiento, los rendimientos y la calidad de la caña de azúcar son: la temperatura, la radiación solar y la disponibilidad de humedad en el suelo.

- I. **La temperatura:** El crecimiento de la caña de azúcar está estrechamente relacionada a la temperatura y a su acumulación durante el ciclo. Se han encontrado relaciones lineales entre la temperatura promedio diaria, la tasa de elongación y engrosado de tallos (CENICAÑA, 1990). La temperatura óptima para la germinación de las yemas es entre 32 y 38°C, la germinación decrece por debajo de 25°C, y se reduce por encima de 35°C. Temperaturas por encima de 38°C reducen la tasa fotosintética e incrementa la tasa de respiración. Sin embargo para la maduración, bajas temperaturas en el rango 12° a 14°C son deseables, dado que esto, tiene una influencia en reducir el de crecimiento vegetativo e incrementar la concentración de sacarosa en los tallos (Valdez, *et al.*, 2009).
- II. **La radiación solar:** La caña de azúcar es un cultivo amante de la luz solar. Crece y se desarrolla bien en áreas que reciben energía solar entre 18 y 36 MJ m<sup>-2</sup> siendo una planta C<sub>4</sub>, la caña de azúcar tiene altas tasas fotosintéticas y el punto de saturación es elevado con relación a la intensidad luminosa. El amacollamiento se ve afectado por la intensidad y la duración de las horas de brillo solar (CENICAÑA, 1990). Altas intensidades de luz y larga duración del brillo solar promueven al amacollamiento, mientras que días nublados y cortos lo afecta. El crecimiento de los tallos se incrementa cuando la luz del día dura entre 10 a 14 horas. El incremento en índice de área foliar es rápido durante el tercer y quinto mes, coincidiendo con la fase de desarrollo del cultivo (Váldez *et al.*, 2009).
- III. **La precipitación:** Un total de lluvia anual entre 1100 a 1500 mm bien distribuida (es decir, abundante en los meses de crecimiento vegetativo, seguido por un

periodo seco para el madurado) es adecuado. Durante el crecimiento activo la lluvia promueve un rápido crecimiento del cultivo. La elongación y la formación de entre nudos (Váldez *et al.*, 2009).

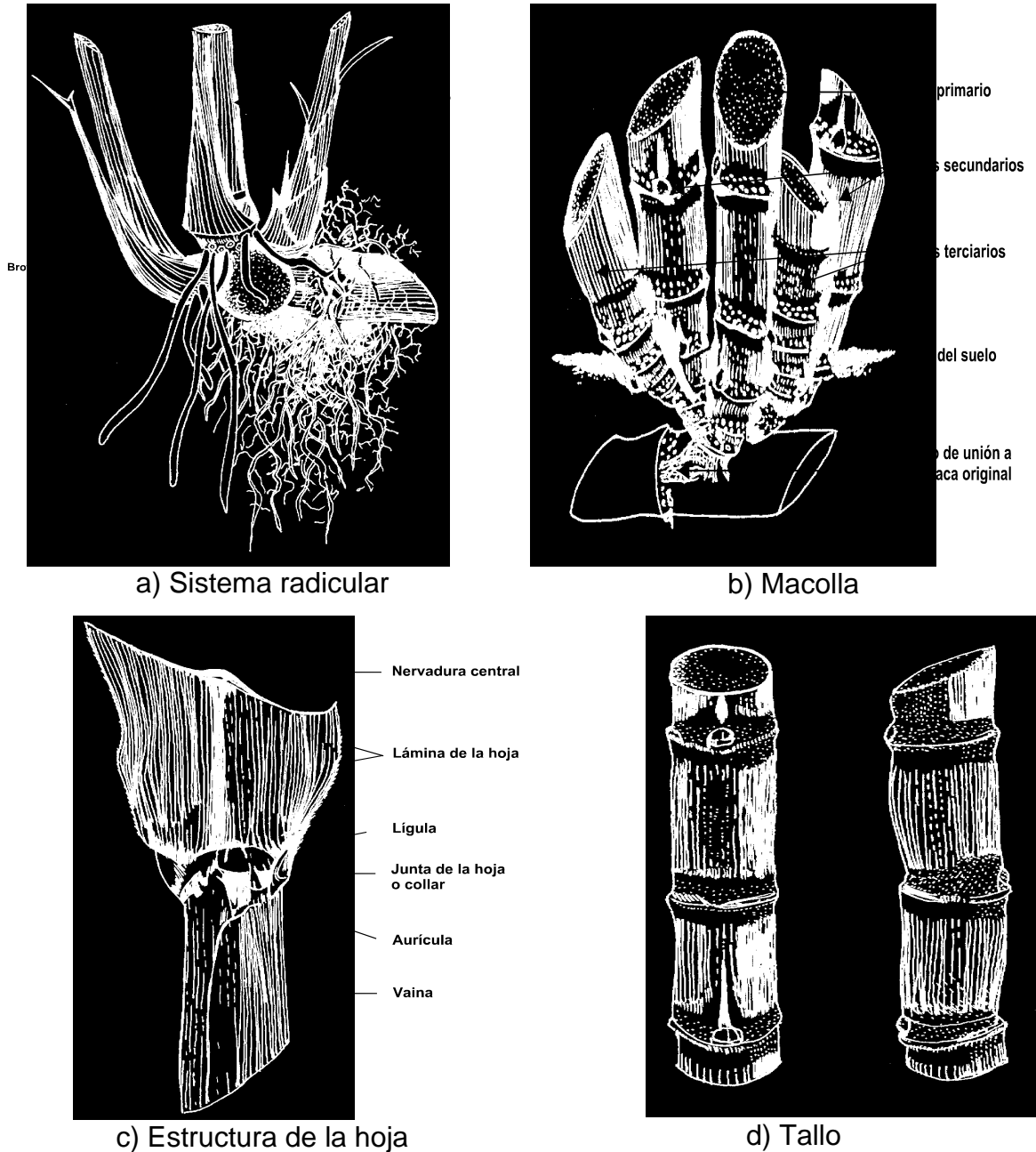
- IV. Humedad relativa:** Durante el período de crecimiento rápido, las condiciones de alta humedad (80-85%) favorecen una elongación rápida de la caña. Valores moderados, de 45-65%, acompañados de una disponibilidad limitada de agua, son beneficiosos durante la fase de maduración (Inman-Bamber, 2005).

### 5.1.3 Medios de propagación

Para producir el cultivo de caña de azúcar a nivel comercial, se plantan trozos de tallo (con 3 a 4 yemas) y/o los tallos enteros que se colocan en el fondo del surco y después se trozan para evitar la dominancia apical de las yemas. En Ecuador, Guatemala y Colombia, utilizan el método de estacas termotratadas. Cada nudo posee una yema axilar y una franja de primordios radicales, surgiendo de aquí una nueva planta (Figura 1). La germinación de las yemas es el paso de los órganos primordios latentes en la yema al estado activo del crecimiento y desarrollo.

Esto involucra fenómenos bioquímicos complejos caracterizados principalmente por la transformación de las reservas nutritivas y la actividad de enzimas y auxinas (Cuenya, 2007). Melo *et al.* (1995), caracterizaron las transformaciones metabólicas en relación a la movilización de las reservas de los trozos de caña de azúcar de la variedad SP 71-1406 durante la brotación. En los primeros 21 días encontraron un incremento en proteínas solubles y de aminoácidos libres y una reducción en el contenido de azúcares totales y de sacarosa; de los 21 a los 42 días, observaron un aumento menor en las proteínas, una reducción fuerte del contenido de aminoácidos, azúcares solubles totales y sacarosa; acompañado de una reducción de tipo lineal de la materia seca del trozo de caña de azúcar.

Lo anterior indica que en la primera fase de la germinación se crea el mecanismo para el inicio de la utilización de las reservas y en la segunda fase ocurre la utilización de las reservas a ritmos acelerados. Habiendo buenas condiciones de humedad y temperatura, y buen nivel de nitrógeno, un trozo germina; esto es, sus yemas se desarrollan en un nuevo tallo y sus primordios radiculares, en raíces (Figura 1).



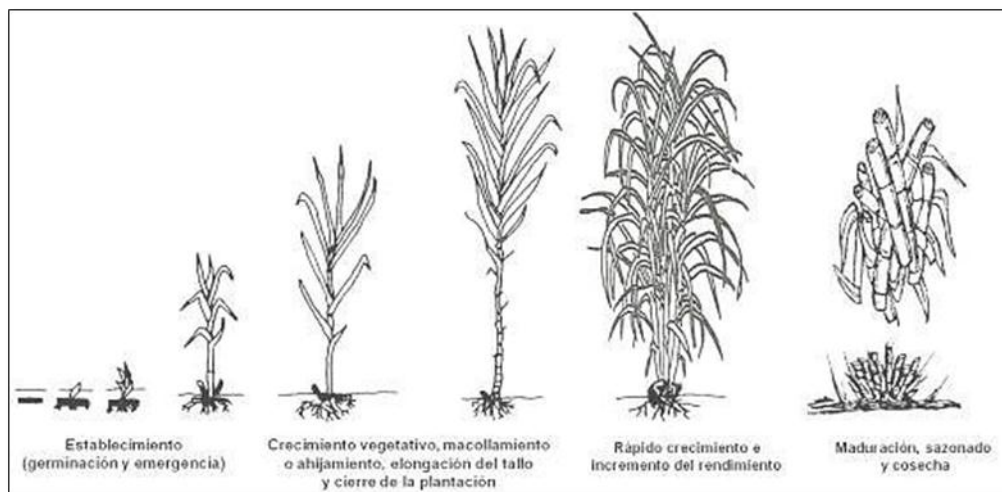
**Figura 1** Morfología de la caña de azúcar (Salgado *et al.*, 2003)

La yema que empieza a crecer depende, al principio, del trozo del tallo y sus raíces para obtener nutrientes y agua, pero en condiciones favorables desarrolla su propio sistema radical después de transcurridas unos 30 días (Carneiro *et al.*, 1995). Las raíces del brote nacen en los nudos ubicados bajo tierra, mientras que las yemas axilares que poseen éstos producen los macollos. Se ha contabilizado que una yema de este tipo puede producir hasta 144 tallos (Salgado *et al.*, 2003).

#### 5.1.4 Etapas de crecimiento

La caña de azúcar tiene esencialmente cuatro fases de crecimiento: a) fase de establecimiento; la cual implica germinación y emergencia, ya sea en plantación (plantillas) o en rebrote (socas y resocas), de los cuales crecerán nuevos tallos (amacollado); b) fase de ahijamiento, formativa o reposo fisiológico; c) fase de crecimiento rápido; y c) fase de maduración y cosecha (Benvenuti, 2005), Figura 2.

**a) Establecimiento (germinación y emergencia 30-50 días).** La germinación se refiere a la iniciación del crecimiento a partir de las yemas presentes en los tallos plantados o en los que quedan en pie después de la cosecha del cultivo anterior. Durante esta fase es necesaria la disponibilidad adecuada de agua y el control de malezas.



**Figura 2** Etapas fenológicas del cultivo de caña de azúcar (FAO, 2006).

El déficit hídrico tiene un impacto significativo sobre el rendimiento de azúcar ya que propicia la reducción de la densidad de población de adultos debido al nuevo e insuficiente sistema de raíces pequeñas y poco profundas (Barbieri, 1993).

La germinación de las yemas es influenciada por factores externos e internos. Los factores externos son la humedad, la temperatura y la aireación del suelo. Los factores internos son la sanidad de la yema, la humedad del esqueje, el contenido de azúcar reductor del esqueje y su estado nutricional. La germinación produce una mayor respiración y por eso, es importante tener una buena aireación del suelo. Por esta razón, los suelos abiertos, bien estructurados y porosos permiten una mejor germinación (Humbert, 1974).

La época de plantación, como factor de manejo, incluye los efectos de la edad/calidad de la semilla o esquejes y, en especial, los de las variables ambientales. La incidencia del primer factor se relaciona con diferencias en el estado hídrico, nutricional, fisiológico y con el contenido y tipo de azúcares del esqueje. En cuanto al segundo factor, es ampliamente reconocido que la modificación de la fecha de siembra genera variaciones en el escenario ambiental, principalmente en las condiciones térmicas e hídricas, que inciden en la emergencia, en el desarrollo foliar y en la producción (Romero *et al.*, 2005).

**b) Crecimiento vegetativo, amacollado o ahijamiento, elongación del tallo y cierre de la plantación (50-70 días).** El crecimiento y el rendimiento son muy sensibles a cualquier déficit de agua en esta etapa exigente; además como la planta amacolla, se desarrolla mayor cantidad de follaje y la plantación comienza a cerrar. Por ello, es necesario aplicar fertilizante para que las plantas puedan desarrollarse satisfactoriamente en la siguiente fase. La elongación del tallo es inicialmente rápida y, durante esta fase, el contenido de fibra del tallo es elevado, mientras que los niveles de sacarosa son todavía bastante bajos. Una temperatura cercana a 30°C es considerada como óptima para el ahijamiento (Fauconnier 1975). El ahijamiento es el proceso fisiológico de ramificación



subterránea múltiple, que se origina a partir de las articulaciones nodales compactas del tallo primario. El ahijamiento le da al cultivo un número adecuado de hojas activas y tallos, que permiten obtener un buen rendimiento. Diversos factores, tales como la variedad, la luz, la temperatura, el riego (humedad del suelo) y las prácticas de fertilización afectan al ahijamiento. La incidencia de una iluminación adecuada en la base de la planta de caña durante el período de ahijamiento es de vital importancia.

Los hijuelos o retoños que se forman primero dan origen a tallos más gruesos y pesados. Los retoños formados más tarde mueren o se quedan cortos o inmaduros. Manejos culturales como el espaciamiento, la fertilización, la disponibilidad de agua y el control de las arvenses afectan al ahijamiento (Barbieri, 1993).

#### **c) Crecimiento rápido e incremento del rendimiento (180-220 días).**

Comprende desde el cierre del dosel hasta el inicio del periodo de madurez de los tallos. Se caracteriza por el aumento de biomasa y del número de tallos por área.

La humedad es fundamental para que el sistema radical se desarrolle y pueda absorber los nutrimentos. Cualquier déficit de agua comenzaría el proceso de maduración y detendría la acumulación de sacarosa antes de su etapa óptima.

Durante la primera etapa de esta fase ocurre la estabilización de los retoños. De todos los retoños formados sólo el 40-50% sobrevive y llega a formar cañas triturables. Esta es la fase más importante del cultivo, en la que se determinan la formación y elongación real de la caña y su rendimiento. En esta fase ocurre un crecimiento rápido de los tallos con la formación de 4-5 nudos por mes, así como una foliación frecuente y rápida hasta alcanzar un índice de área foliar (IAF) de 6-7 (Barbieri, 1993).

**d) Maduración y sazonado (60-140 días).** Se inicia alrededor de dos a tres meses antes de la cosecha para cultivos con ciclo de 12 meses, y de los 12 a los 16 meses de edad para los que completan el ciclo en 18 a 24 meses. En

esta fase se requiere un bajo contenido de humedad del suelo, por lo que el riego debe ser reducido y luego detenerse para llevar la caña a la madurez; así, se detiene el crecimiento y se propicia la acumulación de carbohidratos y la conversión de azúcares reductores (glucosa y fructosa) a sacarosa (Pereira-García, 2009).

La maduración del tallo ocurre desde la base hacia el ápice y por esta razón la parte basal contiene más azúcares que la parte superior. Condiciones de abundante luminosidad, cielos claros, noches frescas y días calurosos (es decir, con mayor variación diaria de temperatura) y climas secos son altamente estimulantes para la maduración. La consecuencia práctica del conocimiento de estas etapas permite al productor una mejor comprensión de lo que ocurre con la planta y ayuda a un manejo eficiente del agua y los nutrimentos. El control parcial del crecimiento vegetativo y la manipulación de la producción de azúcar es factible. El conocimiento de las fases fenológicas de la planta es esencial para maximizar los rendimientos de caña y la recuperación del azúcar (Hunsigi, 2001)

**e) Cosecha.** Los factores que afectan el sazonado de la planta de caña de azúcar son la edad, el contenido de nitrógeno del suelo y la humedad. Los factores ambientales pueden influir en la acumulación de sacarosa, incluido el estrés hídrico, los nutrimentos y la temperatura. Por regla general, la caña de azúcar es cosechada mediante un corte en la base del tallo, el cual se hace de forma manual o mecánica; la paja se elimina manualmente o es quemada previamente a la cosecha; ésta ocurre antes de la floración (12 a 18 meses después de la siembra) debido a que la antesis conduce a la reducción en el contenido de azúcar en los tallos (Humbert, 1974, Fauconnier, 1975, Dillewijn 1978)

### **5.1.5 Factores edafológicos para el desarrollo del cultivo de la caña de azúcar.**

El suelo es el medio para el crecimiento de la planta. Salgado *et al.* (2003), señalan que el suelo proporciona nutrientes, agua y anclaje a las plantas en crecimiento. La mantención de condiciones físicas, químicas y biológicas adecuadas en el suelo, es necesaria para lograr mayor crecimiento, rendimiento y calidad de la caña de azúcar.

La caña de azúcar puede ser cultivada exitosamente en diversos tipos de suelo, desde los arenosos a los franco-arcillosos y arcillosos. Las condiciones edáficas ideales para el cultivo de la caña de azúcar son: suelo bien drenado, profundo, de textura franca, con una densidad aparente de 1.1 a 1.2 gcm<sup>-3</sup>, con un adecuado equilibrio entre los poros de distintos tamaños, con porosidad total superior al 50%; una capa freática por debajo de 1.5 a 2 m de profundidad y una capacidad de retención de la humedad disponible del 15% o superior (cm<sup>3</sup> de agua por cm<sup>3</sup> de suelo).

El pH óptimo del suelo es cercano a 6.5, pero la caña de azúcar puede tolerar un rango considerable de acidez y alcalinidad. Por esta razón se cultiva caña de azúcar en suelos con pH entre 5.0 y 8.5. El encalado es necesario cuando el pH es inferior a 5.0, y la aplicación de yeso es necesaria cuando el pH sobrepasa 9.5. (Barbieri, 1993).

### **5.2 Antecedentes del uso de vermicomposta en la agricultura**

El uso de materiales orgánicos como fertilizantes está ligado a la agricultura desde sus orígenes, y su empleo está relacionado directamente, desde una perspectiva histórica, con el mantenimiento de la productividad de los suelos de cultivo. Los antiguos griegos ya citaban y recomendaban el uso de abonos verdes y estiércoles en la producción de cultivos. Más próximo a nuestros días las prácticas agrícolas tradicionales, que todavía siguen estando vigentes en muchas zonas, mantenían la fertilidad de los suelos principalmente optimizando el uso de agua y la materia orgánica a través del riego, el entarquinado, el uso de enmiendas orgánicas con estiércol, hojarasca y restos de cosecha, entre otras (Labrador, 2001).

Los residuos orgánicos provienen de plantas y hojas caídas además de otros materiales que están sujetos a descomposición por bacterias y hongos, cuyas poblaciones se relacionan con la actividad y estabilidad de la composta. Los factores físicos (principalmente temperatura y humedad), químicos (calidad de los recursos) y la velocidad de descomposición de los residuos orgánicos están determinados por factores que operan en escala espacial y temporal (Moreno *et al.*, 2005).

El compostaje consiste en una biodegradación aeróbica de la materia orgánica y en presencia de la lombriz de tierra, el proceso se denomina vermicompostaje o lombricompostaje, que consiste en una cría masiva, sistemática y controlada de lombrices que involucra procesos biológicos, que llevan a cabo la transformación y mineralización de residuos orgánicos en descomposición. El producto resultante del proceso de vermicompostaje se utiliza entre otras cosas como abono orgánico para la producción de frutas, hortalizas y otros productos agrícolas (Kale *et al.*, 1992).

Los estudios de caso acerca de las experiencias del proceso del vermicompostaje, empleando *Eisenia fetida* son varios, entre los que se encuentra el trabajo de Capistrán *et al.* (2001) y Bernache, (2007) quienes demostraron el empleo del vermicompostaje como biotecnología, que favorece el manejo adecuado de desechos y es una forma de mitigar el efecto negativo en el ambiente.

La vermicomposta es un producto final, que constituye una forma especial, relacionado con la utilización de lombrices de tierra (*Eisenia fetida*), las cuales metabolizan y excretan una micro textura del suelo de materia orgánica estable, durante la ingestión, la lombriz fragmenta el sustrato orgánico, acelerando los procesos de descomposición de la materia orgánica, transformando sus características físicas y químicas de forma más estable (Albanell *et al.*, 1998).

La vermicomposta (VC) o lombricompostas (LC) es el producto resultante de la transformación digestiva y metabólica de la materia orgánica, mediante la crianza sistemática de lombrices de tierra, denominada lombricultura, que se utiliza fundamentalmente como mejorador, recuperador o enmienda orgánica de suelos,

abono orgánico, inoculante microbiano, enraizador, germinador, sustrato de crecimiento, entre otros usos (NMX-FF-109-SCFI-2008). Según la norma mexicana NMX-FF-109 SCFI-2008; la vermicomposta posee cierta característica tales como “Material de color oscuro, con un agradable olor a mantillo de bosque, su gran bioestabilidad evita su fermentación o putrefacción, contiene una elevada carga enzimática y bacteriana que incrementa la solubilidad de los elementos nutritivos, liberándolos en forma paulatina, facilita su asimilación por las raíces e impide que estos sean lixiviados con el agua de riego, manteniéndolos disponibles por más tiempo en el suelo.

El uso de VC o también llamado humus de lombriz es muy variado; puede usarse como mejorador del suelo o también como sustrato para el crecimiento de plantas en la germinación de semillas, soporte para inoculantes microbianos, material con capacidad para suprimir fitopatógenos, biogenerar suelos degradados e incluso biorecuperar suelos contaminados en invernaderos o viveros (Kale *et al.* 2000, Martínez *et al.*, 2003). Mirabelli y Brichta (2006), con el objetivo de sanear la cuenca del Río Matanza-Riachuelo en Brasil implementaron un proyecto para la obtención de vermicomposta con lombrices rojas californianas (*Eisenia fetida*) a partir de lodos o sedimentos. La vermicomposta obtenida presentó incrementos importantes en materia orgánica, fósforo, calcio, potasio, conductividad eléctrica y disminución en el pH y el nitrógeno total. Los contenidos de metales presentaron una disminución para el cromo, zinc y cadmio obteniendo mejoras en el suelo, buenas propiedades de fertilidad y sin riesgos de toxicidad por metales. Por otro lado Hernández *et al.*,(2005), realizaron vermicompostas, utilizando mezclas de cachaza+estiércol bovino, sometíendolas a volteos cada ocho días, monitorearon la temperatura cada tercer día hasta determinar la estabilidad térmica de las pilas (a los dos meses) que se mantuvo en 20°C. La humedad se ajustó permanentemente a 80%. Cuando las condiciones de humedad y temperatura estaban estables, realizaron la inoculación de 10 kg de lombrices por pilas adultas de la especie *Eisenia andrei*, llevando a cabo los análisis físicos y químicos donde se obtuvo un contenido de Nt de 0,92%, pH de 6.4, MO de 52.7%.

Por otro lado, Moreno *et al.* (2005), utilizaron vermicomposta como sustrato para la propagación de tomate, las VC fueron elaboradas con estiércol bovino+pasto bahía (*Paspalum notatum Flüggé*)+tierra negra, en donde obtuvieron, un 8.93% MO, 6.5 pH, 0.48 N, señalan que el uso de VC favorece e incrementa la actividad biótica del suelo. Evidentemente el tema de la lombricultura ha demostrado ser una alternativa viable, siempre y cuando se dé un manejo más preciso sobre el sustrato para así favorecer el nicho ecológico apropiado para el desarrollo de las poblaciones de lombrices (Vivas *et al.*, 2009). Cabe destacar que para efectos de este estudio predomina la intención de cuantificar la capacidad adaptativa de las lombrices a mínimas condiciones de manejo de las mismas.

### **5.3. Vermicompostaje frente a compostaje tradicional**

Schloss *et al.* (2003), definen al compostaje como un proceso biológico aeróbico mediante el cual la materia orgánica es degradada de forma acelerada por las actividades de sucesivos grupos de microorganismos. Así mismo, señalan que en este proceso se pueden distinguir cuatro fases:

- I. La fase mesofílica es la fase más dinámica del proceso y se caracteriza por un rápido incremento de la temperatura (una media de 20°C), grandes cambios en el pH y la degradación de los compuestos orgánicos simples.
- II. La fase termofílica, es la etapa donde la materia orgánica, se descompone de manera de forma más intensa; esta fase constituye la activa del compostaje y es la responsable de la eliminación de los microorganismos patógenos que se encuentran en el residuo, su duración depende de las características del residuo (contenido de sustancias fácilmente degradables) y de la gestión de los parámetros de control del proceso (aireación y humedad) (Lung *et al.*, 2001).
- III. La fase de enfriamiento viene marcada por el descenso de la temperatura hasta alcanzar un estado mesofílico.

IV. En la fase de maduración se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de sustancias húmicas. (Vivas, 2009).

Por otro lado, el vermicompostaje es un proceso que ocurre bajo condiciones mesofílica por lo cual la materia orgánica es bio-oxidada y estabilizada a través de la acción combinada de microorganismos y ciertas especies de lombriz de tierra, del cual se obtiene un producto denominado vermicomposta, humus de lombriz, ó lombricompuesto. Aunque son los microorganismos los que degradan bioquímicamente la materia orgánica, las lombrices juegan un papel fundamental en el acondicionamiento del sustrato y modifican la biomasa y actividad microbiana del mismo (Aira *et al.*, 2007).

Las lombrices son las principales responsables de la fragmentación y el acondicionamiento del suelo en los campos de cultivo, esto tiene un impacto directo sobre el aumento de superficie para la actividad microbiana. Además la actividad microbiológica del sustrato es modificada significativamente ante la presencia de lombrices (Domínguez, 2004). En un estudio realizado por Sholomit *et al.* (2009), se crearon dos sistemas de compostaje a escala de laboratorio: (1) compostaje (sin lombrices) y (2) vermicompostaje (con lombrices de tierra). Ambos sistemas fueron controlados analizando características físicas y químicas tales como: pH, C/N, materia orgánica,  $\text{NH}_4^+$ , N y contenido de cenizas. Dentro de los resultados obtenidos cabe mencionar que se observó una evolución similar en ambos sistemas salvo una mayor presencia de  $\text{NH}_4^+$  y N en la primera etapa del vermicompostaje, con lo cual se concluyó que estos parámetros por sí solos no pueden reflejar en su totalidad las complejas interacciones de las lombrices con la comunidad microbiana presente en el sustrato.

Otra investigación realizada por Singh y Sharma (2002), para probar la viabilidad técnica de un sistema integrado de compostaje con inóculos microbiales y lombrices evidenció (a través del análisis químico de las muestras), una disminución significativa en el contenido de la celulosa, hemicelulosa y lignina durante la descomposición en los

tratamientos con inóculos y vermicompostaje; el contenido de N, P, K aumentó considerablemente durante el proceso de pre-descomposición con bio-inoculantes evidenciándose que la mejor calidad de la composta (basado en el análisis químico) fue donde se aplicó el inóculo que integraba las cuatro cepas de microorganismos seguido de la etapa de vermicompostaje. Además los resultados indican que la combinación de los sistemas evaluados fue muy eficiente en la reducción de tiempo para finalizar el proceso de compostaje. La efectividad de la presencia de las lombrices y su influencia en el establecimiento de una biota microbiana efectiva en tratamientos de degradación de MO ha sido demostrada en un estudio realizado por Vivas *et al.* (2009). En dicho estudio se aplicaron metodologías bioquímicas y moleculares para evaluar el impacto sobre dos tecnologías de reciclaje: compostaje ordinario y vermicompostaje utilizando desechos orgánicos tóxicos. La investigación determinó que ambas tecnologías de reciclaje eran eficaces en la activación de los procesos microbianos sobre la basura. Pero el vermicompostaje resultó ser el proceso que logró producir la mayor diversidad bacteriana, las mayores poblaciones bacterianas así como la mejor diversidad funcional.

Según Aira *et al.* (2006), la calidad del sustrato alimenticio utilizado para el establecimiento de sistemas de vermicompostaje no sólo influye en el tamaño de las poblaciones de lombrices, sino también en sus tasas de crecimiento y reproducción, estudiaron el efecto de la relación C/N de purines de cerdo (estiércoles) utilizados para alimentar lombrices y su relación con la biomasa microbiana, la actividad de las lombrices y el crecimiento y la reproducción de *Eisenia fetida*. Se determinó que en los la C/N afectó significativamente el número de lombrices y la estructura de la población, compuesta principalmente por lombrices maduras (60%) evidenciándose una merma en los hábitos reproductivos. En la relación más balanceada de C/N se evidenciaron beneficios en la estructura debido a que la población estaba compuesta principalmente por jóvenes y crías (70%). Además se demostró que las lombrices producen un aumento sustancial en la biomasa microbiana.



#### **5.4 El vermicompostaje y los residuos orgánicos**

Por muchos años los desechos de la agroindustria y los desechos orgánicos urbanos han sido depositados en ríos, basureros o enterrados ocasionando problemas en el ambiente y en la salud pública. (SEMARNAT, 2005); esto ha conllevado a una búsqueda de nuevas alternativas de manejo de estos residuos. Una de las opciones de manejo que más se están utilizando en el ámbito nacional e internacional es el compostaje, ya que se ha reconocido el valor nutricional y el potencial como mejorador de suelos de estos materiales.

Los residuos orgánicos sin descomponer están formados por: hidratos de carbono simples y complejos, compuestos nitrogenados, lípidos, ácidos orgánicos (cítrico, fumárico, málico, malónico, succínico), polímeros y compuestos fenólicos (ligninas, taninos, etc.) y elementos minerales. Todos estos componentes de la materia viva sufren una serie de transformaciones que originan lo que conocemos como materia orgánica del suelo. En el suelo coinciden los materiales orgánicos frescos, las sustancias en proceso de descomposición y los productos resultantes del proceso de humificación. Todos ellos forman la materia orgánica del suelo. (Durán y Hénriquez, 2007).

El proceso de vermicompostaje, favorecido por la acción transformadora de las lombrices y como método de reciclaje, es ideal para el tratamiento tanto de las deyecciones animales, como los residuos urbanos de tipo orgánico, ya que, además de acelerar el proceso de generación de abonos orgánicos de calidad, evita la contaminación del medio ambiente (Castillo *et al.*, 2000).

En términos generales, existen tres clases principales de residuos orgánicos apropiados para el proceso de vermicompostaje: residuos de origen animal, residuos de plantas y residuos urbanos. (Gunadi y Edwards, 2003). La única forma de reducir la cantidad de residuos es no generarlos. Para conseguir este objetivo los productos deberían ser duraderos, fáciles de reparar y, sobre todo, reutilizables, así los desechos o residuos orgánicos podrían ser mayoritariamente reciclados.

El reciclaje de residuos industriales y domésticos está siendo usado ampliamente como un medio para el manejo sustentable de los residuos y para reducir la necesidad de incineración y de basureros. Al mismo tiempo, esta estrategia de manejo ayuda a generar MO, la cual es de gran importancia para la calidad de los suelos. Adicionalmente, el reciclaje ayuda a preservar grandes cantidades de elementos nutritivos, particularmente N y P, los cuales normalmente se encuentran en grandes concentraciones en los residuos mencionados, reduciéndose en consecuencia la necesidad de fertilizantes sintéticos (Ambus *et al.*, 2002).

En consecuencia, el compostaje supone el reciclaje de los residuos orgánicos, para el aprovechamiento de sus componentes, con el propósito de volver a incorporarlos a su ciclo natural a través del producto final de este proceso: la composta, que puede ser utilizada como fuente de elementos nutritivos y mejorador del suelo ya que ayuda a remediar la carencia de MO de éstos y contribuye físicamente a su fijación. La práctica del compostaje se puede realizar en casa, reciclando nuestra propia basura, contribuyendo así como buenos ciudadanos a la mejora del medio ambiente en los barrios, pueblos y ciudades (Soto y Muñoz, 2002).

La vermicomposta es considerada un método ideal destinado al reciclaje de residuos orgánicos, a la producción de humus, al crecimiento de las plantas, como mejorador de suelos. El Vermicompostaje es un proyecto productivo que además de ayudar ambientalmente por medio de la reducción de residuos orgánicos, puede beneficiar económica y socialmente a la comunidad, esto por medio de la difusión de los programas que apoyen directamente a las comunidades y pequeños productores (Mora, 2006).

El proceso de vermicompostaje al igual que el compostaje es principalmente regulado por la dinámica y el crecimiento de microorganismos; para favorecer su actividad en cualquier tipo de desecho orgánico, debe tenerse precaución al menos con las siguientes condiciones: humedad, temperatura, aireación, el tamaño de las partículas y la relación carbono-nitrógeno (C/N). (García-Pérez, 2006).

Generalmente la descomposición natural de los residuos orgánicos es un proceso que lleva tiempo en realizarse, por ello el vermicompostaje es un mecanismo que contribuye a acelerar dicho proceso, la capacidad que tiene la lombriz de tierra como un organismo adicional a estos sistemas biotecnológicos resulta de gran importancia, ya que desde la antigüedad la lombriz era conocida como “arado” o “intestino de la tierra” (Aristóteles) y hasta finales del siglo pasado en la primer edición del libro *la formación del humus vegetal* Darwin explicó el papel que desempeñan las lombrices en la transformación del suelo (Luévano y Velázquez, 2001; Delgado *et al.*, 2004).

La materia prima que se utiliza durante el vermicompostaje son denominados residuos orgánicos (por ejemplo: estiércol, residuos de cultivos, aguas negras, desechos domésticos, lodos, etc.); estos desechos los descomponen para convertirlos en humus, mismos que poseen un alto contenido de elementos nutritivos (Moreno *et al.*, 2005).

La utilización de estiércol en el vermicompostaje es variable, ya que son materiales muy heterogéneos debido a que hay influencia en el grado de descomposición del material, tipo de del que provienen, así como el manejo que se le da a los animales y al estiércol mismo. Los desechos de jardín o de cosechas pueden enriquecerse con otros materiales cuyo contenido nutrimental sea más favorable, por ejemplo, estiércol y orín (Sánchez *et al.*, 2005).

La biodegradación aeróbica de residuos orgánicos, constituye una forma simple y eficiente para transformar los desechos agroindustriales en acondicionadores de suelos; este proceso permite el uso de estos recursos al reducir el volumen de transporte, eliminar patógenos, plagas, malezas e incrementar la disponibilidad de nutrimentos (Fen, 2003). El efecto positivo de mantener o incrementar la materia orgánica del suelo sobre las propiedades químicas, físicas y biológicas, esto justifica el uso de materiales orgánicos como una alternativa importante para la recuperación de la fertilidad de los suelos. Entre los principales residuos orgánicos se encuentran los siguientes:

#### **5.4.1 El Carbón Biológico o Biochar**

Son materiales que se han formado gracias a la acumulación de grandes cantidades de sedimentos de origen vegetal y la subsiguiente descomposición vía térmica y consolidación de los mismos durante largos periodos de tiempo. En otras palabras se trata del carbón de leña que se produce por la combustión parcial de los materiales vegetales. El carbón mejora las características físicas del suelo en cuanto a aireación, absorción de humedad y calor. Su alto grado de porosidad beneficia la actividad macro y microbiológica del abono y de la tierra; al mismo tiempo funciona como esponja con la capacidad de retener, filtrar y liberar gradualmente nutrientes útiles de la planta, disminuyendo la pérdida y el lavado de los mismos en el suelo (Lehmann *et al.*, 2006).

La producción de biochar a partir de residuos vegetales urbanos, agrícolas y silvícolas puede ayudar a combatir los efectos del cambio climático global desplazando el uso de combustibles fósiles, secuestrando el carbón en depósitos de carbono en el suelo, y reduciendo dramáticamente las emisiones de óxidos nitrosos, un gas de efecto invernadero más potente que el dióxido de carbono (Rondon, *et al.* 2005).

Como mejorador del suelo, la incorporación de biochar mejora las cosechas y productividad de los cultivos al reducir la necesidad de incorporar productos químicos y fertilizantes (Glaser *et al.*, 2002; Lehmann *et al.*, 2006).

**5.4.2 Cachaza:** Es un residuo que se obtiene durante la clarificación del jugo en la agroindustria de la caña de azúcar e incluye materias terrosas e impurezas orgánicas; por cada tonelada de caña procesada se obtienen de 30-50 kg de este residuo.

Presenta el adecuado tamaño de partícula, es decir, este residuo presenta mayor retención de agua, distribución de poros, equilibrio agua-aire, pH, contenido de azúcares y fósforo. (Hernández *et al.*, 2008).

Por otro lado, Arreola *et al.* (2004), señalan a la cachaza como un abono orgánico con alto contenido nutrimental, dependiendo de la zona cañera y del proceso industrial. Se

han encontrado que posee en base seca de 46 a 70% de materia orgánica (MO), 2.29% de N, 2.07% de P, 0.56% de K, 13% de Si, 0.68% de SO<sub>3</sub>, 0.11% de Cl, 5.63% de CaO, 0.07% de Na<sub>2</sub>O, 0.25% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0.47% de MgO y 6.24% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, se incorpora a los suelos cañeros, dándole, nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas de caña de azúcar. La cachaza tiene color oscuro, constituidos por una mezcla de fibras de caña, sacarosa, coloides coagulantes, albuminoides, fosfatos y tierra. Tiene partículas de diferentes tamaños que se descomponen rápidamente; presenta buena retención de humedad, aireación y drenaje medio, densidad baja, pH ácido, contenido de sales solubles variable, capacidad amortiguadora intermedia y estabilidad física baja.

**5.4.3 Bagazo:** Residuo orgánico que se obtiene de la industria azucarera. (Pérez *et al.*, 2011). El bagazo se obtiene en grandes cantidades después de extraer el jugo de la caña, su producción es de 250-400 kg por cada tonelada de tallos molederos que ingresan a la fábrica (Pernalet *et al.*, 2008), está formado por partículas variables (Sánchez-Fuentes, 1997), físicamente está constituido por fibra, sólidos insolubles, sólidos solubles agua y cenizas y químicamente está constituida del 52% de celulosa, 29% hemicelulosa y 19% de lignina (Sihuanca, 2011).

**5.4.4 Cascarilla de cacao:** Subproducto de la planta de *Theobroma cacao*, considerado como material orgánico. El principal uso que se le ha dado a este material es en la fertilización de suelos, esto gracias a su degradación que sirve como mejorador del mismo, posee varias cualidades: i) tiene un buen poder de absorción y de retención de agua; ii) tiene un alto contenido de grupos OH, provenientes de las ligninas y celulosas, y iii) es altamente biodegradable.(orgánicos en forma pura y en mezclas) Padrón-Gamboa *et al.*, 2004).

**5.4.5 Estiércol:** Los estiércoles son los excrementos sólidos y líquidos de los animales, mezclados, en algunos casos como la pollinaza, con los residuos vegetales que se han utilizado como cama. Presentan valores altos de carbono total (Ct) y nitrógeno total (Nt), por lo que se consideran muy apropiados para el compostaje, en particular el de

los rumiantes (Capistrán *et al.*, 2001; Sánchez *et al.*, 2005); se caracterizan por ser materiales de naturaleza orgánica obtenidos por fermentación aeróbica más o menos controlada. Su incorporación al suelo aporta nutrientes, incrementa la retención de la humedad y mejora la actividad biológica y, por tanto, la fertilidad y la productividad del suelo. (Salgado *et al.*, 2010).

Transcurrido un cierto tiempo de estabilización de dichos residuos, suficiente para considerarlos como maduros, pueden utilizarse en agricultura como fertilizantes y enmendantes del suelo, contribuyendo a mejorar las características fisicoquímicas y biológicas del mismo (Durán y Henríquez, 2007).

La utilización de estiércol en el vermicompostaje es variable, ya que son materiales muy heterogéneos y tienen influencia en el grado de descomposición del material, tipo de del que provienen, así como el manejo que se le da a los animales y al estiércol mismo. (Sánchez *et al.*, 2005).

### **5.5 El Papel de las lombrices en el vermicompostaje.**

Desde tiempos inmemorables, la lombriz de tierra se consideró como un animal ecológico por definición. El papel de las lombrices en el mejoramiento de las tierras de cultivo fue ampliamente conocido en Egipto, ya que gran parte de la fertilidad del Valle del Nilo dependía de su actividad (Castillo, *et al.*, 2000).

Las lombrices son los principales elementos del proceso, ya que airean, acondicionan y fragmentan el sustrato, modifican el estado físico y químico de la materia orgánica, debido a que reducen gradualmente su relación C/N, y a que incrementan el área superficial, expuesta a los microorganismos, favoreciendo la actividad de los mismos y en consecuencia la descomposición del material orgánico (Lung *et al.*, 2001). Producen una alteración microbiana bien de forma directa por el mucus que segregan, el cual constituye una fuente de carbono fácilmente asimilable para los microorganismos o por los “casts” (deyecciones) que excretan, los cuales tienen formas disponibles de carbono, nitrógeno y fósforo (Aira *et al.*, 2004), o bien de forma indirecta, ya que el

residuo es fragmentado a su paso por el interior de la lombriz, incrementado el área superficial donde puede desarrollarse la actividad microbiana (Domínguez,2004).

Las lombrices de tierra son consumidores voraces de residuos orgánicos y aun cuando sólo utilizan una pequeña porción para la síntesis de sus cuerpos, ellas excretan gran parte de los residuos consumidos en una forma medio digerida. Puesto que los intestinos de las lombrices contienen una amplia gama de microorganismos, enzimas, hormonas, etc., éstos materiales medio digeridos se descomponen rápidamente y son transformados a una forma de composta en un período de tiempo corto (Ghosh *et al.*, 1999). Zepeda (2000), señala que las lombrices soportan rangos de temperatura de 0-35°C, durante las épocas frías, en zonas áridas las lombrices permanecen inactivas, al presentarse humedad y temperatura adecuada durante el día, las lombrices permanecen en la parte superior de la galería (cama), al presentarse altas temperaturas causan desecación y por consiguiente la muerte de las lombrices. En condiciones domesticadas, el control de la temperatura es muy importante, por lo que hay que estar preparados para protegerlas del frío o del calor (Martínez,19996).

Las lombrices de tierra representan la mayor biomasa animal edáfica en la mayoría de ecosistemas templados terrestres (Edwards y Bohlen, 1996), y allí donde son abundantes pueden procesar a través de sus cuerpos hasta 250 toneladas del suelo por hectárea al año (Lavelle *et al.*, 1997).

Este inmenso trabajo influye de forma muy significativa en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, y otorga a estos organismos un papel crucial en la modificación de la estructura del suelo, en la aceleración de la descomposición de la materia orgánica y del reciclado de nutrientes a través de sus interacciones con la microbiota descomponedora (Domínguez *et al.*, 2010).

Sin embargo, la investigación de estas interacciones es escasa. El conocimiento del proceso aerobio de degradación y tratamiento de residuos orgánicos basado en la acción conjunta y sinérgica de algunas especies de lombrices de tierra y los

microorganismos, es clave para entender los mecanismos biológicos que rigen el vermicompostaje (Domínguez, 2004).

Delgado *et al.* (2004), realizaron un estudio para solucionar el problema de los residuos, y obtener productos orgánicos de mayor valor agronómico, utilizaron a *E. fetida*, encontraron que el porcentaje de lodos mayor al 50%, elimina lombrices, así mismo, que las características agronómicas son mejoradas con en el humus obtenido de la transformación de residuos orgánicos, aumentando la riqueza en potasio y fósforo.

Moreno *et al.* (2005), realizaron un estudio cuya finalidad era evaluar el desarrollo del tomate (*Lycopersicon esculentum*) bajo condiciones de invernadero, usando diferentes mezclas de vermicomposta/arena. Se estudiaron cuatro tipos de vermicomposta, generados por la acción de descomposición de la *E. fetida* durante un período de 90 días, utilizando los siguientes materiales: a) estiércol de caballo; b) estiércol de caballo más estiércol de chivo con paja de alfalfa (*Medicago sativa*); c) estiércol de chivo con paja de alfalfa; d) estiércol de chivo con paja de alfalfa más residuos de jardín (principalmente pasto y hojas) encontrando que la vermicomposta favorece el desarrollo de los cultivos en invernaderos, cuando es utilizada como sustratos de crecimiento.

Hoy en día existen diversas evidencias de que las lombrices de tierra provocan diferentes efectos benéficos: físicos, químicos y biológicos, sobre los suelos y diversos investigadores han demostrado que estos efectos pueden incrementar el crecimiento de la planta y el rendimiento de los cultivos tanto en ecosistemas naturales como en los ecosistemas manejados. Estos efectos se han atribuido al mejoramiento de las propiedades y la estructura del suelo, a una mayor disponibilidad de los elementos nutritivos para las plantas, y a una creciente población microbiana y metabolitos biológicamente activos, como los reguladores de crecimiento de la planta (Atiyeh *et al.*, 2002).



Las lombrices, durante el proceso de su alimentación, fragmentan los residuos, incrementan la actividad microbiana y los índices de descomposición y/o mineralización de los residuos orgánicos, alteran las propiedades físicas y químicas de los materiales, provocando un efecto de compostaje o humificación mediante el cual la MO inestable es oxidada y estabilizada. El producto final, comúnmente llamado vermicomposta es obtenido conforme los residuos orgánicos pasan a través del intestino de la lombriz, y es bastante diferente al material original (Atiyeh *et al.*, 2000). Además, se ha demostrado que bajo la acción de las lombrices se incrementa tanto la velocidad de mineralización del N como los índices de conversión del  $\text{N-NH}_4^+$  a  $\text{N-NO}_3^-$  (Atiyeh *et al.*, 2002). Mientras los microorganismos son responsables de la degradación bioquímica de la MO en el proceso de vermicomposteo, las lombrices son importantes para acondicionar el sustrato y para promover la actividad microbiana.

Las lombrices actúan como batidoras mecánicas ya que éstas desintegran el material orgánico, incrementan el área superficial expuesta a los microorganismos y mueven los fragmentos y los excrementos ricos en bacterias, en consecuencia homogenizan el material orgánico (Domínguez *et al.*, 2003). La actividad de las lombrices en el proceso de vermicomposteo es física, mecánica y bioquímica. Los procesos mecánicos incluyen: aeración del sustrato, mezclado, y molienda. El proceso bioquímico es afectado por la descomposición microbiana del sustrato en el intestino de las lombrices (Buck *et al.*, 2000). También, a diferencia del tradicional tratamiento microbiano de los residuos, el vermicompostaje provoca la bioconversión de los desechos en dos productos de utilidad: la biomasa de la lombriz y la VC (Ghosh *et al.*, 1999; Domínguez *et al.*, 2001;).

La aplicación de lombrices a los residuos orgánicos acelera la estabilización de estos materiales en términos de descomposición y mineralización de la MO, generando un medio más apropiado para el crecimiento de la planta (Atiyeh *et al.*, 2000). Por lo tanto, el empleo de las lombrices de tierra en la descomposición de una amplia gama de residuos orgánicos, incluyendo lodos de aguas negras, desechos de animales, residuos

de cultivos, y residuos industriales, para generar vermicompostas se ha incrementado de manera considerable (Atiyeh *et al.*, 2002).

Hoy en día, debido a que las reglamentaciones para la aplicación y disposición del estiércol han sido más rigurosas, ha crecido el interés por utilizar las lombrices como un sistema ecológicamente seguro para manejar el estiércol. Lo anterior debido a que diversos estudios han demostrado la capacidad de algunas lombrices de tierra para consumir una amplia gama de residuos orgánicos (Dominguez *et al.*, 2010).

Como ejemplo del papel de estos organismos, Atiyeh *et al.* (2000) concluyeron que las lombrices *Eisenia andrei* tuvieron un papel destacado en el procesamiento del estiércol vacuno, ya que la actividad de éstas aceleró el proceso de descomposición y estabilización del estiércol y promovió características bioquímicas que resultaron favorables para el crecimiento de la plantas.

La producción de lombrices tiene grandes perspectivas a futuro, ya que ofrece una excelente alternativa para el manejo de desechos que se vuelven contaminantes tales como la basura de las ciudades, los desperdicios de restaurantes, los excedentes de los establos, etc. (Legall, 2006). Por lo anterior, recientemente se ha mostrado gran interés en el desarrollo de novedosos procesos ecoamistosos, basados en la utilización de los sistemas biológicos.

Uno de estos sistemas incluye la crianza de lombrices (vermicultura o lombricultura) para estabilizar una gran variedad de residuos orgánicos (vermicompostaje). En consecuencia, resulta de gran importancia el utilizar la capacidad que tienen ciertas especies de lombrices e.g. *Eisenia foetida*, *Eisenia andrei*, *Eudrilus eugeniae*, *Lumbricus rubellus*, para adaptarse y reproducirse, con un apetito voraz y gran velocidad de crecimiento, fuera de su hábitat natural, para provocar la descomposición de los residuos orgánicos (Ghosh *et al.*, 1999; Atiyeh *et al.*, 2000; Domínguez *et al.*, 2010).

Las lombrices en general, poseen ciertas propiedades, que les aseguran la superficie en gran diversidad de ambientes como son: su alta capacidad reproducción y de

aprovechamiento de alimentos, su capacidad para producir capullos resistentes y de adoptar el color del entorno (homocromía).

Por lo tanto, el vermicompostaje genera un producto final estable y homogéneo, el vermicompost, con bajo niveles de contaminantes y como un fertilizante orgánico para cultivos. (Vivas, 2009).

### **5.5.1 Madurez de la vermicomposta**

La madurez y la estabilidad de las compostas y vermicompostas constituyen importantes factores a considerar antes de la aplicación al suelo de estos materiales con objetivo de evitar efectos adversos sobre el suelo y la planta, así como un impacto negativo sobre el medio ambiente agrícola (Vivas, 2009). La estabilidad normalmente se define como la resistencia que presenta la materia orgánica contenida en estos materiales la degradación (Dominguez, *et al.*, 2010). Los materiales que contienen mucha materia orgánica disponible generan una elevada actividad microbiana y son considerados inestables. La madurez se define como la idoneidad de estos materiales para soportar el crecimiento de las plantas y con frecuencia ha sido asociado al grado de humificación de la composta (Paco *et al.*, 2011).

Algunos criterios para la determinación del grado de madurez de las vermicompostas son: olor a tierra húmeda, color café oscuro a negro oscuro,  $\text{pH} \geq 7$ ,  $\text{CIC meq/100} > 60$ , relación  $\text{C/N} \leq 20$  (NMX-FF-109-SCFI-2008). El proceso de vermicompostaje se desarrolla en temperaturas comprendidas entre 10 y 35°C, aunque el óptimo se sitúa cercano a los 25°C. (Nogales y Benítez, 2006).

En el vermicompostaje puede diferenciarse dos fases: una fase activa donde las lombrices procesan el residuo modificando su estado físico y su composición microbiana (Lores *et al.*, 2006), y una fase de maduración, marcada por el desplazamiento de las lombrices hacia las capas de residuos sin procesar y por la descomposición del residuo por parte de los microorganismos. En el compostaje, la duración de la fase activa no es fija, y depende de la especie, la densidad de las

lombrices, y de su capacidad para ingerir el residuo. Al desarrollarse en condiciones mesofílica, la eliminación de patógenos no está asegurada, aunque algunos estudios han demostrado la supresión de este tipo de microorganismos (Monroy *et al.*, 2008).

### **5.6 Propiedades físicas y químicas de las vermicompostas**

En el vermicompostaje, se requiere de ciertas condiciones para que el ambiente sea propicio para la transformación de los residuos orgánicos, Los factores mínimos que deben tomarse en cuenta para llevar a cabo una composta o vermicomposta (Vc) de óptimas condiciones son: humedad (H), temperatura (t), pH, conductividad eléctrica (CE), aireación, tamaño de las partículas, volumen, capacidad de intercambio catiónico (CIC), nitrógeno(N), materia orgánica(MO), relación C/N y parámetros de madurez del composta (García-Pérez, 2006).

Por otro lado, durante el vermicompostaje, los nutrientes presentes en el residuo original, tales como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, etc., se transforman en formas más solubles y asimilables para las plantas (y se favorece la producción de sustancias que pueden actuar como fitohormonas sobre las plantas (Ndegewa y Thompson, 2001).

Loh *et al.* (2003), realizaron una selección del estiércol (caprino y bovino) que más aportaba N, C, P y K; encontrando una mayor aportación de C, P y K por parte del caprino y más contenido de N en el bovino, en este estiércol se favoreció el incremento de la biomasa de la lombriz y su tasa de reproducción, encontrando una mejor respuesta por parte del estiércol bovino.

Por otro lado Mirabelli y Brichta (2006), obtuvieron vermicomposta obtenida presentó incrementos importantes en materia orgánica, fósforo, calcio, potasio, conductividad eléctrica y disminución en el pH y el nitrógeno total. Los contenidos de metales presentaron una disminución para el cromo, zinc y cadmio obteniendo mejoras en el suelo, buenas propiedades de fertilidad y sin riesgos de toxicidad por metales.

Las diferencias en cuanto a los factores que afectan al compostaje convencional y al VC, están principalmente relacionados con la humedad, temperatura y pH (Durán y Hénriqez, 2007). Sin embargo, la diferencia principal la constituye la presencia de lombrices las cuáles transforman el ambiente en el que se encuentran. Al ser habitantes de los residuos orgánicos las lombrices composteras, fabrican galerías por donde el CO<sub>2</sub> y otros gases se liberan en el proceso de descomposición fluyen libremente, comportándose como un molino biológico que fracciona el residuo y modifica el tamaño de la partícula, con lo cual se acelera la biotransformación. (Dominguez *et al.*, 2010).

Lazcano *et al.* (2008), encontraron que la vermicomposta posee mejores propiedades para ser utilizado como sustrato orgánico que la composta. Otros autores pudieron observar mayor crecimiento y floración de una planta ornamental (*Crossandra undulaefolia*) cuando el suelo era enmendado con vermicomposta que cuando se usaba composta (Gajalakshmi y Abbasi, 2002). Sin embargo no es posible generalizar sobre la mayor calidad de un producto sobre el otro (composta o vermicomposta), ya que esta viene determinada por las propiedades del residuo original y por la tecnología empleada para llevar a cabo el compostaje (Tognetti *et al.*, 2008).

### **5.6.1 Humedad**

Una de las funciones primordiales, de la humedad, es evitar la deshidratación de la lombriz compostera, durante el proceso de composteo (Moreno, 2005). El contenido de humedad limita la presencia de la lombriz, ya que son abundantes en climas templado húmedo, pero casi inexistentes en praderas áridas. La humedad presente en las pilas de composta debe de estar en un nivel por debajo de la saturación para evitar el desplazamiento del oxígeno.

Los porcentajes de humedad adecuados para la supervivencia de las lombrices se encuentra entre 40% y 60% (García-Pérez, 2006). Aunque Domínguez y Edwards (1997), señalan que *Eisena fetida* necesita una humedad superior del 70% encontrándose su óptimo alrededor del 85%. Sin embargo, de acuerdo a la Norma

Mexicana NMX-FF-109- SCFI-2008, el contenido de humedad que se requiere en el proceso debe de estar entre 20% y 40%.

### **5.6.2 pH**

El pH es uno de los parámetros importantes que controlan las formas de los elementos en el suelo, matemáticamente se define como el logaritmo de la inversa de la concentración de iones hidrógeno e indica en el suelo el grado de saturación de bases, dependiendo de la arcilla predominante. En suelos minerales ácidos también informa el grado de disociación de los iones hidrógeno procedentes de los lugares de intercambio o la extensión de la formación de dichos iones por hidrólisis del ión  $Al^{+3}$  (Moreno, 2005).

El pH posee un valor neutro y mejora las características estructurales del terreno, desliga suelos arcillosos y agrega suelos arenosos. Amortigua el efecto de los compuestos químicos aplicados al suelo. Al término del proceso el pH se estabiliza entre 7 y 8, lo que permite la degradación y la maduración de la MO. Un valor superior a 8 provoca pérdidas de nitrógeno en forma de amoníaco (Rodríguez y Córdova, 2006). Sin embargo, la Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007, determina un valor mínimo de 5.5 y máximo de 8.5.

Castillo *et al.* (2000), reportaron valores de pH cercanos a la neutralidad para tratamientos con estiércol vacuno y desechos de cocina, mientras que Suthar (2009), reportó valores de 8.4 al inicio y de 7.6 al finalizar empleando estiércol de chivo, mientras que para residuos vegetales inicio con 8.1 y termino con 7.8. Por otro lado, Nogales y Benítez (2006), reportan un pH neutro ligeramente alcalino, en tratamientos de estiércol combinados con residuos municipales.

### **5.6.3 Conductividad eléctrica**

Cuando se presenta una cantidad excesiva de sales en el suelo impide la absorción del agua hacia la planta y modifica la adsorción de nutrientes. La conductividad eléctrica (CE) permite estimar el grado de salinidad del suelo y en la vermicomposta se requiere

que esté libre de sales por que pueden resultar toxica cuando se adiciona al suelo (Portal *et al.*, 2003).

La CE es un parámetro que se encuentra regulado en la Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008, establece valores  $\leq 4 \text{ dS}^{\text{m}^{-1}}$ , Atiyeh *et al.*, (2002) determinó la CE utilizando dos porcentajes de estiércol porcino (10% y 100%) el primero arrojó valores de 3 y el segundo estuvo por debajo del valor de 3.

#### **5.6.4 Materia orgánica**

La materia orgánica (MO) esta constituida por diversos materiales derivados de organismos vivos que, en calidad de residuos orgánicos, se utilizan para alimentar a las lombrices para producir las lombricompostas (NMX-FF-109-SCFI-2008).

La importancia que se reconoce a la MO deriva de su intervención en procesos de trascendencia para el comportamiento del suelo, crecimiento de las plantas y organismos del suelo como son: formación y estabilización, adsorción e intercambio iónico, suministro de energía y nutrientes, capacidad de retención de humedad, protección contra la degradación del suelo por erosión, favorece la circulación del agua. Los aportes de MO al suelo resultan críticos para el mantenimiento del suelo y la fertilidad a largo plazo (Porta *et al.*, 2003).

La MO es parte fundamental del proceso de vermicompostaje ya que es el alimento de las lombrices. La Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008, establece un valor entre 20% y 50% de MO en base seca como los óptimos para una vermicomposta. Castillo *et al.* (2000), reportan mayor contenido de MO en tratamientos que contienen estiércol bovino (29.72%). Delgado *et al.* (2004), también reportan mayor cantidad de MO en tratamiento que contenía estiércol equino (44.9%) que en el que contenía lodo residual (37.5%).

#### **5.6.5 Relación carbono – nitrógeno (C/N)**

La relación C/N, expresa las unidades de C por unidades de N que contiene un material. El C es una fuente de energía para los microorganismos y el N es un elemento necesario para la síntesis de proteína. (Salgado *et al.*, 2010). El carbono

proporciona la energía necesaria por las bacterias y hongos, es el principal integrante de la paja, es muy abundante en el estiércol, en madera, papel y cualquier material celulolítico. El nitrógeno conforma las proteínas necesarias en las funciones vitales y reproducción de los organismos, se encuentra en el estiércol fresco y material verde (García-Pérez, 2006).

Cuando la relación de C/N es mayor de 40:1, los microorganismos demorarán mucho tiempo en degradar los residuos por carecer de nitrógeno suficiente. Si la relación es muy baja, se presenta un cuadro de mineralización alta del nitrógeno que puede producir pérdidas de nitrógeno en forma amoniacal, debido a elevaciones considerables de la temperatura. Cuando la relación C/N llega a valores entre 10 y 15/1, el material está listo para ser utilizado (Armenta, 2006). La norma mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008, establece que un valor  $\leq 20$  indica que la vermicomposta está en óptimas condiciones para su uso agrícola. Suthar (2009), reporta un valor mínimo de  $10 \pm 2.1$  para un tratamiento de 80% de lodo residual y 20% de residuos de la industria azucarera, y un valor máximo de  $14.7 \pm 0.2$ . Kaviraj y Sharma (2003) encontraron una relación C/N de  $25.1 \pm 0.12$ , en vermicomposta que contenía residuos sólidos municipales.

#### **5.6.6 Capacidad de intercambio catiónico (CIC)**

La CIC es el índice de fertilidad del suelo, expresa el número de moles de iones de carga positiva adsorbidos, que pueden ser intercambiados por unidad de masa seca, bajo condiciones dadas de temperatura, presión, composición de la fase líquida y una relación de masa-solución dada. La CIC de un suelo variará de horizonte a horizonte y en cada uno de ellos dependerá del contenido, tipo de minerales de arcilla y de componentes orgánicos (Porta *et al.*, 2003), la norma mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2008), señala valores  $> 40 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ , para lombricompostas.

#### **5.6.7 Nitrógeno (N)**

El N se encuentra en forma mineral y orgánica y es el alimento básico de las plantas, es esencial para el crecimiento y rendimiento. Una planta bien provista de N brota



pronto, así mismo, tiene un gran desarrollo de hojas y tallos, en contraste cuando el suelo tiene deficiencia de N las plantas crecen mal, son amarillentas y las cosechas son malas, para corregir esto se agrega nitrógeno al suelo, por medio de salitre o urea (Gros *et al.*, 1986). El contenido de N en el proceso de vermicompostaje se incrementa hasta el término del proceso (Suthar, 2009). Castillo *et al.* (2000) reportan que el contenido de N se incrementa si contiene la vermicomposta solo estiércol bovino (1.25%), con respecto a una mezcla de 25% de estiércol y 75 % de residuos vegetales (0.53%). Esto difiere a lo señalado por Suthar (2009) quién menciona que el tratamiento de estiércol presentó menor cantidad de N  $8.24 \pm 0.4$  que el de residuos vegetales  $24.8 \pm 0.3$ .

### **5.6.8 Fósforo**

El fósforo disponible en el suelo se encuentra en forma de iones fosfóricos, en la planta se encuentra en estado mineral y formando complejos orgánicos fosforados con lípidos, prótidos y glúcidos. El P interviene en la mayor parte de las reacciones bioquímicas como son: respiración, síntesis y descomposición de glúcidos, síntesis de proteínas, actividad de las diastasas. En la fotosíntesis el P es el vehículo y el motor. El P es factor de crecimiento al igual que el N, es un factor de precocidad, activa el desarrollo inicial y acorta el ciclo vegetativo, favoreciendo la maduración, así mismo, aumenta la resistencia de la planta al frío y enfermedades (Gros *et al.*, 1986).

Durante el proceso de vermicompostaje el P disponible se incrementa al término del proceso (Suthar, 2009). Castillo *et al.*, (2000) reporta que tratamientos de vermicompostas con residuos domésticos presentaron menor cantidad de P (0.027%) que los tratamientos de estiércol (0.032%). Esto concuerda con lo descrito por Loh (2004) donde las concentraciones de P que contenían estiércol de bovino y caprino fueron 0.65% y 0.56%, respectivamente.

## 6. Literatura citada

- Ambus, P., Kure, L. K. and Jensen, E. S. 2002. Gross N transformation rates after application of household compost or domestic sewage sludge to agricultural soil. *Agronomie*, 22: 723-730.
- Aira, M.;M, f; Domínguez, J; 2006. C to N ratio strongly affects population structure of *Eisenia fetida* in vermicomposting systems. *European Journal of Soil Biology* 42: 127–S131
- Arreola-Enríquez, J; Palma-López, D. J.; Salgado-García S. 2004. Evaluación de abono órgano-mineral de cachaza en la producción y calidad de la caña de azúcar. *TERRA Latinoamericana*. 22(3):351-357
- Atiyeh, R. M., Lee, S., Edwards, C. A., Alarcon, N. Q. and Metzger, J. D. 2002. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Biores. Technol.* 84: 7-14.
- Atiyeh, R. M. Subler, S., Edwards, C. A., Bachman, G., Metzger, J. D., and Shuster, W. 2000. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedobiologia*. 44: 579-590..
- Castillo, A.E., Quarín, S. H. e Iglesias, M. C. 2000. Caracterización química y física de compost de lombrices elaborados a partir de residuos orgánicos puros y combinados. *Agric. Téc. (Chile)*. 60(1): 74-79.
- Capistrán F., Aranda E., Romero J.C., 2001. Manual de reciclaje, compostaje y lombricompostaje. Instituto de ecología. A. Xalapa Ver. 150 p.
- Cuenya, M. I.; Díaz Romero C. y Scandaliaris J. 2007. Producción de “vitroplantas” de caña de azúcar: etapa de crianza de plantines en invernadero. *Avance Agroind.* 22 (4): 7-10.
- Delgado M.M, Porcel M.A., Miralles R., Beltrán E., Beringola L. y Martín J.V. 2004. Efecto de la vermicultura en la descomposición de residuos orgánicos. *Rev. Inter. Contam. Amb.* 20 (2): 83-86.
- Del Valle-Arango. J.I. 2003. Descomposición de la hojarasca, en bosques pantanosos del pacifico colombiano. *Interciencia* 28 (3):148-153.
- Domínguez J., Aira M., Gómez-Brandón M. 2010. Vermicomposting: earthworms enhance the work of microbes. En: Insam, H., Franke-Whittle, I., Goberna, M.

- (Eds). *Microbes at work: from wastes to resources*, pp.93-114. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Germany.
- Dominguez, J.; 2004. State of the art and new perspectives on vermicomposting research. In: Edwards, C.A. (Ed.), *Earthworm Ecology*, 2nd ed. CRC Press, Boca.401-1426
- Fenn M.E., Perea-Estrada V.M., De Bauer L.I., Pérez-Suárez M., Parker M. C., Cetina-Alcalá D.R. 2006. Nutrient status and plant growth effects of forest soils in the Basin of Mexico. *Environmental pollution*. 140: 187-199.
- Fauconier, D. y Bassereau. 1975. *La caña de azúcar:técnicas agrícolas y producciones tropicales*. Edit. BLUME. Barcelona, España.433p
- Félix H., J. A.; Serrato F., R.; Armenta B., A. D; Rodríguez Q.,G.; Martínez R.R.; Azpiroz R., H.S; y Olalde P. V.2010. Propiedades Microbiológicas de Compostas Maduras producidas a partir de diferente materia orgánica. *Rev. Ra Ximhai*, Vol. 6:105-113
- García-Pérez, R. E. 2006. *La lombriz de tierra como una biotecnología en agricultura*. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo México. 177 págs.
- 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). *Pedobiologia*. 47.
- Hernández G.I., Salgado G.S., Palma-López D.J., Lagunes E.L. del C., Castelán E.M., Ruiz O. 2008. Vinaza y composta de cachaza como fuente de nutrientes en caña de azúcar en un Gleysol mólico de Chiapas, México. *Interciencia* 33 (11): 855-860.
- Hodge A., Stewart J., Robinson D., Griffiths B.S. and Fitter A.H. 2000. Plant N capture and microfaunal dynamics from decomposing grass and earthworm residues in soil. *Soil Biol. Biochem*. 32: 1763-1772.
- Jégou D., Cluzeau D., Hallaire V., Balesdent J. and Tréhen P. 2000. Burrowing activity of the earthworms *Lumbricus terrestris* and *Aporrectodea giardi* and consequences on C transfers in soil. *Eur. J. Soil Biol*. 36: 27-34.

- Loh T.C., Lee Y.C., Liang J.B., Tan D, 2004. Vermicomposting of cattle and goat manures by *Eisenia foetida* and their growth and reproduction performance. *Biores. Technol.* 96: 111-114.
- Luévano A. y Velázquez N.E. 2001. Ejemplo singular en los agronegocios estiércol vacuno: de problema ambiental a excelente recurso. *Rev. mex. Agron.* 9: 306-320.
- Inman-Bamber N.G. and Smith D.M. 2005. Water relations in sugarcane and response to waters déficits. *Fields Crops Research*, 92(No?): 185-202 pp.
- Iñiguez G., Parra J. y Velasco P.A. 2006. Utilización de subproductos de la industria tequilera. Parte 8. Evolución de algunos constituyentes de la mezcla de biosólidos-bagazo de agave durante el compostaje. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 22 (2): 83-93
- Kale R. D., Malesh B.C., Bano K. and Bagyaraaj D.J. 1992. Influence of vermicompost application on the available macronutrients and selected microbial population in a paddy fields. *Soil Biol. Biochem.* 24: 1317-1320.
- Moreno A., Valdés M.T. y Zarate T., 2005. Agricultura técnica, Chile, 65: 26-34
- Moreno, A.; Valdes, M. y Zarate, T. 2005. Desarrollo de tomate en sustratos de vermicompost/arena bajo condiciones de invernadero. *Agricultura Técnica*, 65(1):26-34.
- Ndegwa P. M., Thompson S. A., Dass K. C. 2000. Effects of stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids. *Biores. Technol.* 71: 5-12
- NMX-FF-109-SCFI-2008. Humus de lombriz (lombricomposta) - especificaciones y métodos de prueba vermicompost (worm casting) - specifications and test methods. México.
- Pérez, M. M. A.; Sánchez, H. R.; Palma-López, D.J. y Salgado, G. S. 2011. Caracterización química del compostaje de residuos de caña de azúcar en el sureste de México *Interciencia*, 36 (1), pp. 45-52
- Pernalet Z., Piña F., Suárez M., Ferrer A. y Aiello C. 2008. Fraccionamiento del bagazo de caña de azúcar mediante tratamiento amoniacal efecto de la humedad del bagazo y de la carga de amoniac. *Bioagro* 2: 3-10.

- Quintero-Lizaola, R., Ferrera-Cerrato, R., Etchevers-Barra, J. D., García-Calderón, N. E., Rodríguez-Kabana, R., Alcántar-González, G., y Aguilar-Santelises, A. 2003. Enzimas que participan en el proceso de vermicompostaje. *Terra*, 21(1): 73-80.
- Ruiz R.O. 1999. Agroecología: un enfoque para la producción sustentable de alimentos agrícolas industriales. *Revista Tecno agro* 5 5-6 pp.
- Sainz, H., Benítez, E., Melgar, R., Alvarez, R., Gómez, M. y Nogales, R. 2000. Biotransformación y valorización agrícola de subproductos del olivar -orujos secos y extractados- mediante vermicomposteo. *Edafología*. Volumen 7(2).103-111.
- Salgado G., S., Bucio A., D., y Lagunes E. L.del C. 2003 Caña de azúcar : hacia un manejo sustentable. Campus Tabasco, Colegio de Postgraduados-Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción en el Trópico Húmedo de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México. 384p.
- Sánchez R., Ordaz V.M., Benedicto G.S., Hidalgo C.I. y Palma-López D.J. 2005. Cambio en las propiedades físicas de un suelo arcilloso por aportes de lombricomposteo de cachaza y estiércol. *Interciencia* 30 (no?): 765-779.
- SEMARNAT, 2005. Cruzada Nacional por un México Limpio, Subdelegación de Planeación y Fomento Sectorial. En: <http://www.semarnat.gob.mx/slp/mexicolimpio/mexicolimpio.shtml> (2012-09-21).
- Shlomit, A., Michael, A., Ibrahim, S. and Yael, L. 2009. Methodological aspects of microcalorimetry used to assess the dynamics of microbial activity during composting. *Bioresource Technology*, 100: 4814–4820
- Singh, A. y Sharma, S.; 2002. Composting of a crop residue through treatment with microorganisms and subsequent vermicomposting. *Bioresource Technology* 85: 107–111
- Suthar, S.2009. Vermicomposting of vegetable-market solid waste using *Eisenia fetida*: Impact of bulking material on earthworm growth and decomposition rate. *Ecol. Engin.* 35 : 914-920.

- Soto, G. y Muñoz, C. 2002. Consideraciones teóricas y prácticas sobre el compost y su empleo en la agricultura orgánica. *Manejo Integrado de Plagas*. (65):123-129.
- Soto, G. y Muschler, R. 2001. Génesis, fundamentos y situación actual de la agricultura orgánica. *Manejo integrado de plagas*. (62) 101-105.
- Trewavas, A. 2004. A critical assessment of organic farming-and-food assertions with particular respect to the UK and the potential environmental benefits of no-till agriculture. *Crop Protection*, (23): 757-781.
- Váldez, B. A., Guerrero, P. A., García L. E. y Obrador, O. J.J. (eds). 2009. Manual para el cultivo y producción de la caña de azúcar. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas Tabasco. México. pp1-3

## **CAPITULO 1. CARACTERIZACION QUIMICA Y FISICA DE VERMICOMPOSTAS PRODUCIDAS A PARTIR DE CINCO SUSTRATOS ORGÁNICOS.**

### **1.1 Introducción**

Existe una gran diversidad de materiales que son utilizados como fuente de materia orgánica para el suelo y que pueden ser aplicados en forma fresca o bien luego de un proceso de elaboración, como abonos orgánicos. Dentro de los abonos orgánicos empleados en diversos sistemas de producción destaca la vermicomposta, producida por la ingestión de compuestos orgánicos de lombrices de tierra (Atiyeh *et al.*, 2000). El uso de vermicomposta, generada a partir de diversos residuos orgánicos, se ha incrementado en diferentes regiones del mundo como abono de alta calidad (Santamaría *et al.*, 2001; Lopes *et al.*, 2005).

La vermicomposta es el resultado de las transformaciones que sufren los residuos orgánicos, provocadas por las lombrices, transformándolos en un material rico en elementos nutritivos y fácilmente asimilables. Es un producto ampliamente utilizado en producciones orgánicas y permite bioestabilizar grandes cantidades de materia orgánica. Se caracteriza por contener sustancias activas que actúan como reguladoras de crecimiento, posee una buena Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) , así como un alto contenido de ácidos húmicos, además de gran capacidad de retención de humedad, porosidad elevada que facilita la aireación y drenaje del suelo y de los medios de crecimiento (Ndegwa *et al.*, 2000; Castillo *et al.*, 2000).

El proceso de vermicomposteo, favorece la acción transformadora de las lombrices y como método de reciclaje, es ideal para el tratamiento tanto de las deyecciones animales, como los residuos urbanos de tipo orgánico, ya que, además de acelerar el proceso de generación de abonos orgánicos de calidad, evita la contaminación del medio ambiente (Castillo *et al.*, 2000).

Las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de la lombricomposta o vermicomposta varían considerablemente según el alimento con que se nutren las lombrices (Medina *et al.*, 2003).

La lombricomposta presenta entre 25-55 % de materia orgánica (MO) y nutrientes esenciales: N, P, K (Medina *et al.*, 2001), Ca, Mg, Fe, Cu, Zn y Mo (Castillo *et al.*, 2000). Este compuesto, en términos generales posee las características que se describen a continuación: material de color oscuro, con agradable olor a tierra, su gran bioestabilidad que evita su fermentación o putrefacción, contiene una elevada carga enzimática y bacteriana que incrementa la solubilidad de los elementos nutritivos, liberándolos en forma paulatina, facilita su asimilación por las raíces, impide que éstos sean lixiviados, manteniéndolos disponibles por más tiempo en el suelo, favorece la germinación de las semillas y el desarrollo de las plantas; Incrementa la superficie activa de las partículas minerales favoreciendo la CIC de los suelos; favorece y multiplica la actividad biótica del suelo.

Su acción antibiótica aumenta la resistencia de las plantas contra plagas, enfermedades y organismos patógenos: se puede utilizar sin inconvenientes en estado natural y se encuentra libre de nematodos; los ácidos húmicos y fúlvicos que contiene regeneran las características químicas del suelo; posee un pH neutro; mejora las características estructurales del terreno al desligar suelos arcillosos y agregar suelos arenosos; durante el transplante previene enfermedades y evita el choque por heridas o cambios bruscos de temperatura y humedad; amortigua el efecto de los compuestos químicos aplicados al suelo: y aumenta la retención hídrica de los suelos (4–27%) disminuyendo el consumo de agua por los cultivos (Basal *et al.*, 2000; Ndegwa *et al.*, 2000; Gajalakshmi *et al.*, 2001).

Derivado de diversos estudios se ha demostrado que las lombrices, en explotaciones intensivas, tienen la capacidad de consumir una amplia gama de residuos, por ejemplo: estiércol, residuos de cultivos, desechos industriales, lodos de aguas negras, etc.

Durante su alimentación, las lombrices fragmentan los residuos, aceleran la descomposición de la MO, alteran las propiedades físicas y químicas de los materiales, provocando el compostaje, a través del cual la MO inestable es oxidada y estabilizada (Bansal *et al.*, 2000 y Castillo *et al.*, 2000).



Paco *et al.* (2011), describen al vermicompostaje o lombricultura, como proceso de bio-oxidación y estabilización de la materia orgánica, mediado por la acción metabólica combinada de lombrices y microorganismos, obteniendo un producto denominado vermicomposta. Esta práctica de biotransformación aprovecha varias ventajas derivadas de la actividad de ciertas especies epigeas de lombrices, que aceleran la descomposición de la materia orgánica.

La vermicomposta es conocida con muchos nombres comerciales, como: casting, humus de lombriz, lombricompost, lombrihumus, lombricompuesto y otros, dependiendo de la casa que lo produzca y lugar (Ferruzi (1987), Torres (1996) y Martínez (1996), concuerdan en que el conjunto de características químicas, físicas, y microbiológicas, son las que determinarán la calidad final y en consecuencia el uso apropiado de estos productos en los diferentes cultivo (Durán y Hénriquez,2007).

Debido a lo anterior se planteó esta investigación que tuvo como objetivos: elaborar vermicompostas, a partir de residuos orgánicos y caracterizar fisicoquímicamente los sustratos obtenidos con base en la norma NMX-FF-109-SCFI-2008 humus de lombriz (lombricomposta) - especificaciones y métodos de prueba vermicompost.

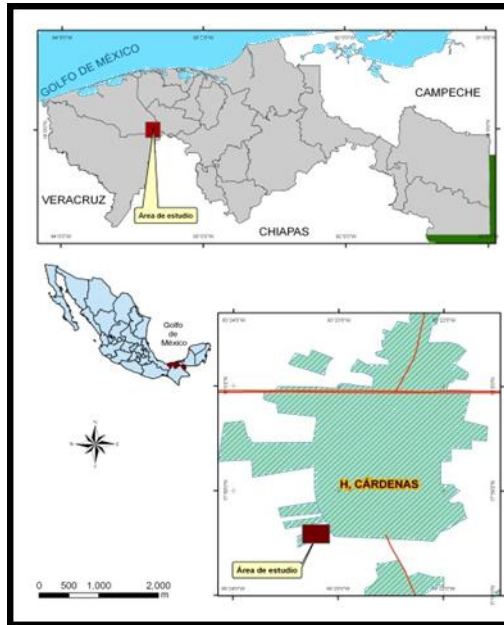
## **1.2 Materiales y métodos**

El presente trabajo de investigación se realizó del 01 de Agosto de 2011 al 31 de Mayo de 2012 en las instalaciones del Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco; la fase experimental se desarrolló en dos etapas:

1. Elaboración de Lombricompostas o Vermicompostas (a partir de Residuos orgánicos), en invernadero
2. Caracterización química y física de sustratos orgánicos (obtenidos por vermicompost).

### 1.2.1 Descripción del Área de Estudio

El área de estudio está ubicada geográficamente 17°58'34" Latitud Norte y los 93° 23'16" Longitud Oeste, en el Municipio de Cárdenas, del Estado de Tabasco. (Figura 1.1).



**Figura 1.1** Ubicación geográfica del área de estudio

De acuerdo a INEGI (2005), presenta un clima cálido húmedo con lluvias en verano (Am), con temperatura promedio de 26.3°. Con una máxima media mensual de 30.3 °C en mayo y una mínima media mensual de 20 °C en diciembre y enero. La precipitación media anual es de 2.643 mm, con un promedio máximo mensual de 335 mm en septiembre y un mínimo de 0 mm en abril. La humedad relativa promedio anual está estimada en un 83%, con una máxima de 86% en enero y febrero y una mínima de 77% en mayo. Los mayores vendavales ocurren en los meses de noviembre y diciembre, con máximas de 30 km h<sup>-1</sup> y las menores en junio, con máximas de 20 km h<sup>-1</sup>.

## 1.2.2 Elaboración de Vermicompostas

Para el desarrollo del proceso de vermicomposteo se utilizaron residuos orgánicos, los cuáles fueron colectados durante los meses de agosto y septiembre de 2011, fueron seleccionados de acuerdo a su abundancia con base en la existencia de mayores volúmenes, lo cual provoca también un problema de contaminación ambiental. El lugar de colecta y muestreo se realizó en el campo experimental del Colegio de Postgraduados Campus Tabasco, que se ubica a los 17°59´ de latitud Norte y los 93° 34´ longitud Oeste en el Km. 21 de la carretera Cárdenas- Coatzacoalcos. Las colectas fueron a los 60 y 30 días antes de la elaboración de las camas (unidad experimental). El tiempo de vermicomposteo fue de 130 días, durante el cual se realizaron muestreos de pH y temperatura a cada unidad experimental, durante el segundo mes de compostaje el control de la humedad fue complicado debido a la evaporación causada por las altas temperaturas por lo que se le adiciono agua cada tercer día.

### 1.2.2.1 Descripción de los residuos orgánicos empleados

- **Cachaza:** La cachaza son lodos depurados de los ingenios azucareros, tienen color oscuro, constituidos por una mezcla de fibras de caña, sacarosa, coloides coagulantes, albuminoides, fosfatos y tierra. Tiene partículas de diferentes tamaños que se descomponen rápidamente; presenta buena retención de humedad, aireación y drenaje medio, densidad baja, pH ácido, contenido de sales solubles variable, capacidad amortiguadora intermedia y estabilidad física baja (Pérez, 2011). El 12 de Agosto se colectaron los residuos de cachaza en el Ingenio Santa Rosalía, la cual fue obtenida directamente del lugar donde se deposita durante el proceso de industrialización del azúcar.
- **Bagazo:** Es un residuo orgánico que se obtiene de la industria azucarera en grandes cantidades después de extraer el jugo de la caña, su producción es en promedio entre 250-400 kg por cada tonelada de tallos molidos que ingresan a la fábrica (Pernalet *et al.*, 2008; Pérez *et al.*, 2011). El 12 de agosto de 2011 se recolectaron las muestras de bagazo, en el Ingenio Santa Rosalía, fueron guardadas en bolsas de plástico negras, para conservar su humedad.

- **Cascarilla de cacao:** La cascarilla de cacao se obtuvo del producto que queda después de extraer las almendras de los frutos del cacao (*Theobroma cacao L.*), la colecta se realizó del material almacenado a cielo abierto de una parcela, del campo Experimental del Colegio de Postgraduados, el residuo ya había sufrido una descomposición parcial.
- **Estiércol de ganado bovino:** Los estiércoles son los excrementos sólidos y líquidos de los animales. Su incorporación al suelo aporta nutrientes, incrementa la retención de la humedad y mejora la actividad biológica y, por tanto, la fertilidad y la productividad del suelo (Salgado *et al.*, 2006). La colecta se realizó en el establo del campo experimental del Colegio de Postgraduados.
- **Carbón biológico o biochar.** El carbón biológico se adicionó como un material extra, por las propiedades químicas que aporta el suelo ya que se considera como un mejorador de suelos, fue adquirido de manera comercial.

### 1.2.3 Diseño experimental y tratamientos

Para el diseño de los tratamientos se utilizó un diseño con nueve tratamientos y cuatro repeticiones, se ubicaron en un diseño completamente al azar en condiciones semicontroladas. Para integrar cada tratamiento se realizaron mezclas de los residuos orgánicos colectados (Cuadro 1.1), en diferentes dosis, todos los materiales fueron triturados y cernidos (Durán y Henríquez, 2007); se colocó como material base (cama) a una mezcla de cachaza y bagazo (CAB) en diferentes porcentajes volumétricos. Cada tratamiento se mezcló según los porcentajes, indicados en el Cuadro 1.1, las mezclas fueron colocadas en contenedores de plástico con medidas 0.38 m de largo, 0.33 m de ancho y 0.14m de alto.

**Cuadro 1.1 Tratamientos conformados por residuos agroindustriales probados en el diseño experimental**

TRATAMIENTO	MATERIAL BASE	DOSIS	SIGLAS
T1	*CAB 100 %	0	75%Ca+ 25%B
T2	CAB 75%	25% Estiércol de ganado	50%Ca+ 25%B +25%EG
T3	CAB 50%	50% Estiércol de ganado	25%Ca+ 25%B +50%EG
T4	CAB 75%	25% Cascarilla de cacao	50%Ca+ 25%B +25%CC
T5	CAB 50%	50 % Cascarilla de cacao	25%Ca+ 25%B +50%CC
T6	CAB 75%	12.5 % Estiércol de ganado + 12.5% cascarilla de cacao	50%Ca+ 25%B +12.5%EG+12.5%CC
T7	CAB 50%	25% Estiércol de ganado + 25% de Cascarilla de cacao	25%Ca+ 25%B +25%EG+25%CC
T8	CAB 50%	50% de Biochar	25%Ca+ 25%B +50%BC
T9	CAB 75%	25% de Biochar	50%Ca+ 25%B+25%BC

\* CAB= Mezcla de 75% de cachaza + 25 % de bagazo. El porcentaje de los residuos se cuantificó con base en el volumen.

A cada unidad experimental se le inoculó 0.300 g de lombrices de la especie *Eisena fetida*, la cual fue colectada del área de vermicompostaje, del campo experimental del Colegio de Postgraduados, su colecta se realizó a través de trampas elaboradas de estiércol y cascarilla de cacao fresco, las cuáles fueron colocadas tres días antes de la elaboración de las unidades experimentales, (Figura 1.2). Antes de inocular las lombrices, se cuantificó la cantidad por aplicar (Figura 1.3) a cada unidad experimental, así mismo se determinó el número de Lombrices promedio (NL) y el número de lombrices adultas, juveniles y cocones (NC) por cada tratamiento Durante el proceso de vermicompostaje se determinaron las variables: pH, y temperatura (°C). Al final del experimento se colocaron trampas, elaboradas de estiércol fresco y cascarilla de cacao (Figura 1.5) a cada unidad experimental para llevar a cabo un conteo de lombrices en cada tratamiento (Figura 1.6).



**Figura 1.2** Colecta de Lombrices *Eisena fétida* a través de trampas.



**Figura 1.3** Conteo inicial de lombrices



**Figura 1.4** Colocación de trampas a cada unidad experimental para cosecha de lombrices



**Figura 1.5** Conteo final de lombrices en cada unidad experimental

### 1.2.3.1 Caracterización química y física de sustratos orgánicos

Se realizó después del proceso de vermicompostaje. Los sustratos orgánicos, se secaron a la sombra a temperatura ambiente (Figura 1.6). Se molieron manualmente, se homogeneizaron y tamizaron a través de una malla de 2.0 mm (Salgado *et al.*, 2006) para las determinaciones físicas y químicas (Figura 1.7). Posteriormente se guardaron en bolsas de plástico con etiquetas por tratamientos y repeticiones.



**Figura 1.6** Secado de los sustratos orgánicos a temperatura ambiente



**Figura 1.7** Molida y tamizada de los sustratos orgánicos, en el laboratorio de suelos del INIFAP.

Cabe señalar que para la determinación de análisis químicos se agregó un testigo comercial (T0), el cual consistió en una vermicomposta comercial (Cosmopeat®). Los parámetros físicos determinados fueron: color (Tabla Munsell), densidad aparente (Dap. g/ml) (NMX-FF-109- SCFI-2008) y el porcentaje de humedad (NOM-021 RECNAT-2000); los parámetros químicos considerados para su caracterización fueron realizados de acuerdo a la metodología descrita en la norma oficial mexicana NMX-FF-109- SCFI-2008. Humus de lombriz (lombricomposta), los cuáles se describen en el Cuadro 1.2

**Cuadro 1.2** Métodos utilizados en análisis químicos de sustratos orgánicos.

Determinación	Método
pH	Potenciómetro (Etcheveres,1988)
Conductividad eléctrica	Potenciómetro (Etcheveres,1988)
Nitrógeno total	Semimicro-Kjeldahl (Bremner,1965)
Capacidad de intercambio catiónico	Acetato de amonio 1N pH 7 (Chapman,1965)
Materia orgánica	Calcinación o combustión seca (Jackson,1982)

#### 1.2.4 Variables de estudio

Durante el desarrollo del compostaje, se midieron las siguientes variables:

- I. pH. Se determinó, realizando muestreos cada ocho días con un potenciómetro, manual, a una relación 1:2.
- II. Temperatura (°C). El muestreo se efectuó con un termómetro de mercurio de escala o a 100 °C marca acmé. Las mediciones se realizaron cada ocho días, a dos profundidades, para calcular la temperatura promedio. Durante el desarrollo de la composta fue posible determinar la fase mesófila así como la fase termófila; la cual se registró a los 15 días después del establecimiento del ensayo.
- III. Número de lombrices, por tratamiento. El muestreo se efectuó al inicio y al final del proceso de compostaje, se cuantificó por tratamientos.

Al final del composts, los valores obtenidos de los análisis químicos obtenidos fueron designados como una variable de estudio, para su caracterización de acuerdo a las especificaciones descritas en la norma NMX-FF-109-SCFI-2008 (Cuadro 1.3).

**Cuadro 1.3** Especificaciones Fisicoquímicas del Humus de Lombriz (Lombricomposta) de acuerdo a la norma NMX-FF-109-SCFI-2008

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	5.5 a 8.5
Conductividad eléctrica	≤ 4 dS m <sup>-1</sup>
Capacidad de intercambio catiónico	> 40 cmol kg <sup>-1</sup>
Densidad aparente (peso volumétrico) sobre materia seca	0.40 a 0.90 g mL <sup>-1</sup>

### 1.2.5 Análisis estadísticos

La información experimental obtenida de cada una de las variables se capturó en el programa Excell® para Windows, después se realizaron análisis de varianza de cada uno de los parámetros, (Tukey  $p < 0.05$ ) y los efectos con el paquete estadístico SAS® 7.1



### **1.3. Resultados y discusión**

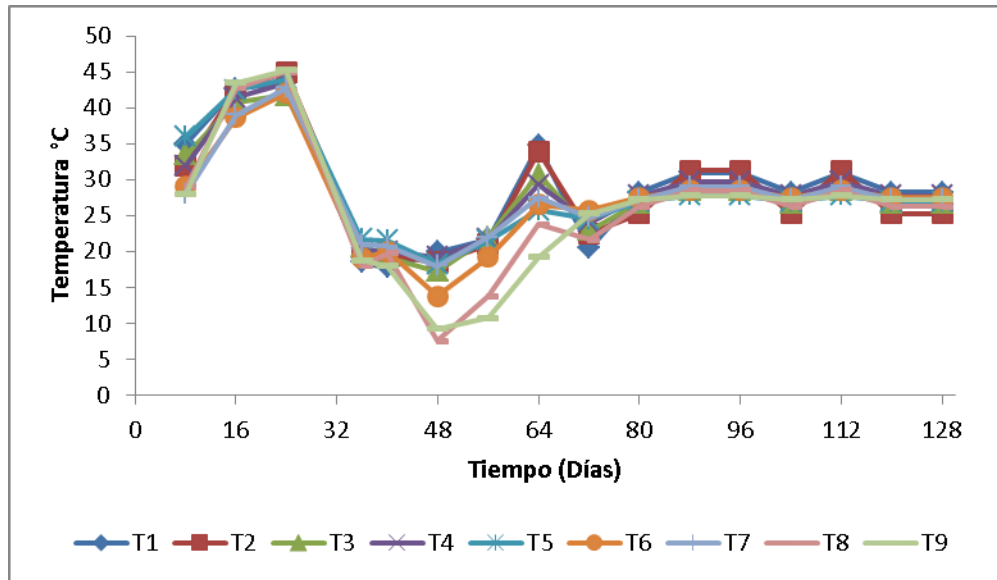
#### **1.3.1 Madurez de las vermicompostas**

Durante el proceso de vermicompostaje se analizaron las variables temperatura y pH, como indicadores de madurez de las vermicompostas.

##### **1.3.1.1 Temperatura**

En el experimento la temperatura tuvo un comportamiento normal en los tratamientos, ya que se presentó, la fase mesofílica, tuvo una duración de 10 días, la fase termofílica que duró 48 días y de nuevo se presentó la fase mesofílica que tuvo una duración de 27 días. Aira *et al.* (2006), señalan que el vermicompostaje, es un proceso que ocurre en condiciones mesofílicas, relacionado con el acondicionamiento de los residuos que realiza las lombrices (*Eisenia fetida*). La temperatura en los tratamientos se estabilizó a los 28°C, a los 80 días de su elaboración (Figura 1.8), lo cual está de acuerdo con Nogales y Benítez, (2006), que mencionan que el proceso de vermicompostaje se desarrolla en temperaturas comprendidas entre 10 y 35°C, aunque el óptimo se sitúa cercano a los 25°C (Figura 1.8).

A pesar de los resultados de Miller *et al.* (2011) y Cabral *et al.* (2006), que indican que la temperatura podría aumentar hasta 60-65 °C durante fase termofílica, en la presente investigación el aumento observado fue muy inferior al rango anteriormente señalado, alcanzando temperaturas máximas que oscilaban entre los 40 y 45 °C, sobre todo en el inicio del proceso de compostaje. Se observó que la temperatura fue constante entre los sustratos, lo cual fue benéfico para el desarrollo de las lombrices, ya que estas se desarrollan en rangos de 22 a 24°C (Paco *et al.*, 2011), la excepción se observó con el sustrato biochar que mostró una variación de temperatura entre 7 y 44°C lo cual probablemente afectó la reproducción y crecimiento de las lombrices, ya que al final se obtuvo un menor número de lombrices y cocones en los tratamientos 8 y 9 (Figura 1.9)

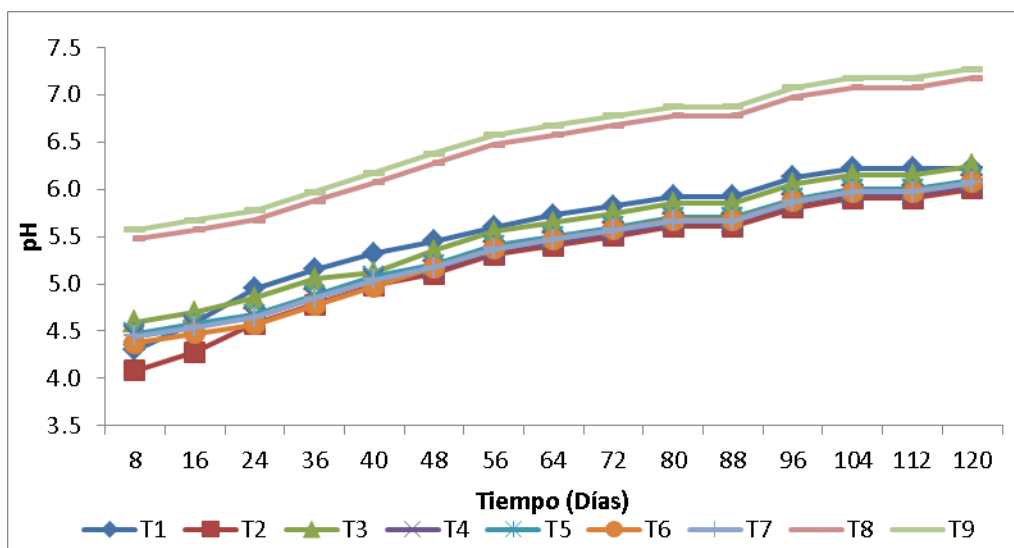


**Figura 1.8** Comportamiento de la temperatura, como indicador de madurez, en el vermicompostaje de los residuos orgánicos.

### 1.3.1.2 pH

Durante los 120 días que duró el proceso de vermicompostaje, el comportamiento del pH de los nueve tratamientos presentó valores que oscilaron de 4.0 y 7.2, con una tendencia clara a elevarse conforme avanzó el proceso de compostaje (Figura 1.9). Sin embargo se observa que la mayoría de los sustratos utilizados presentan pH muy similares, excepto los tratamientos 8 y 9 con biochar que muestran una diferencia de una unidad de pH superior al resto.

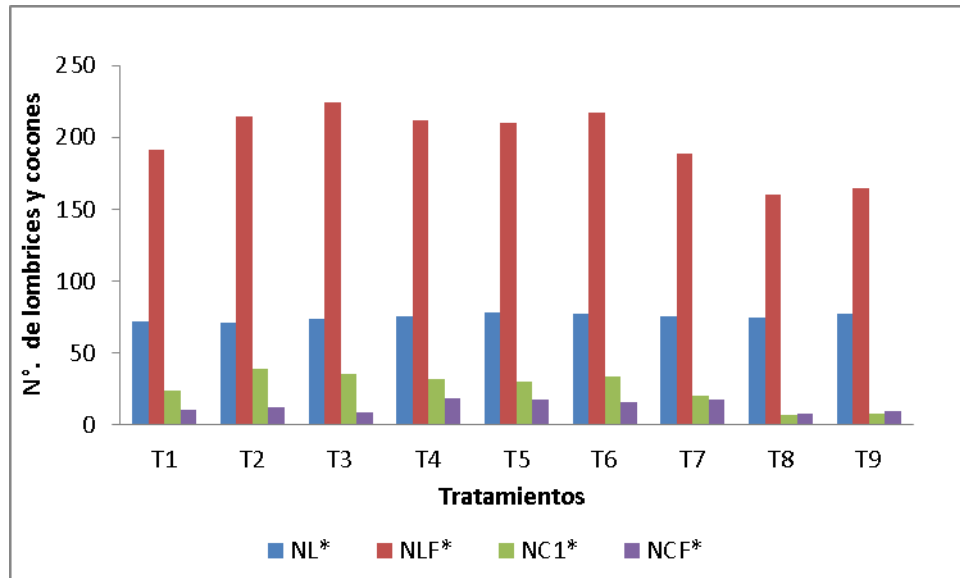
Esta diferencia se conserva durante el proceso de compostaje finalizando los tratamientos con biochar en un rango de 7.18 a 7.28 y los otros tratamientos entre 6.0 y 6.25, esto pone en evidencia la menor liberación de ácidos húmicos en los tratamientos con carbón biológico, comparado con los de los otros residuos orgánicos.



**Figura 1.9** Comportamiento del pH, durante el proceso de vermicompostaje.

### 1.3.1.3 Número de lombrices y cocones

Al inicio y final del proceso de compostaje, se cuantificó el número de lombrices por tratamiento (Figura 1.10); el número de lombrices inoculadas en cada tratamiento fue en promedio de 66 individuos por tratamiento, se observó una tasa de reproducción del 100% por tratamiento, sin embargo en los tratamientos T2 (50% de cachaza+25% de bagazo+25% estiércol) y T3 (25% de cachaza+25%de bagazo+50% de estiércol), se observa un rango más adecuado para la reproducción y adaptación de lombrices, los resultados concuerdan con los obtenidos por Gutiérrez *et al.*(2007), quienes obtuvieron mayor densidad poblacional de cocones y lombrices adultas en tratamientos elaborados a base de estiércol de bovino, siendo la población inicial de 100 lombrices adultas en 1 kg. de estiércol composteado, obteniendo al final 60.1 g con una población final de 200 cocones y 150 lombrices jóvenes. Esta misma situación se presentó con Díaz *et al.* (2009), quienes evaluaron la dinámica de crecimiento y producción de la lombriz roja, misma que se vio favorecida con sustrato elaborados con estiércol de bovino (96%) + cepa de caña (3%) + cepa de plátano (1%).



**Figura 1.10** Variación del número promedio de lombrices de *E. fetida*, en los tratamientos, a los 0 y 128 días. NL\*= Número de lombrices a los 0 días, NLF\*=Número de lombrices final a los 128 días, NC1\*=Número de cocones al mes y NCF\*=Número de cocones a los 128 días

### 1.3.4 Caracterización física y química de los sustratos orgánicos

De acuerdo a Burés (1997), la caracterización física y química de los sustratos, es de suma importancia, pues de ello dependerá el manejo adecuado de la fertilización y del riego, es decir, el éxito del cultivo.

#### 1.3.4.1 Caracterización física de los tratamientos

En el Cuadro 1.4 se presenta la caracterización física de los tratamientos. El color determinado en los tratamiento, cumple con la norma NMX-FF-109-SCFI-2008, que establece que el color para vermicompostas o lombricompostas, debe estar entre el negro y el café oscuro. Para la variable humedad se establece que debe estar entre 20 a 40 % de humedad, por lo que se observa que en los tratamientos con biochar T8 (4.38%) y T9 (3.11%) se encuentran por debajo de los rangos que la norma establece, mientras que el mayor porcentaje, lo presentan los tratamientos 4 y 7 con un poco más de 32% de humedad. La norma NMX-FF-109-SCFI-2008, establece un rango de 0.40 a 0.90 g mL<sup>-1</sup> para la variable densidad aparente (Dap) para vermicompostas.

En el experimento los tratamientos T7 y T8 (1.05 y 1.02 g mL<sup>-1</sup> respectivamente) muestran los valores más altos, fuera del valor aceptado por la norma y son diferentes estadísticamente del resto.

El tratamiento T9 es el que presenta la menor densidad aparente con un valor de 0.72 g mL<sup>-1</sup> y es estadísticamente diferente con los otros tratamientos. La importancia de esta variable radica en la capacidad para conservar la humedad y permitir la liberación de los nutrientes de manera controlada al contacto con las raíces de las plantas, se tiene así que los humus obtenidos en este estudio al estar compuestos por partículas pequeñas poseen una gran cantidad de microporos que permiten la retención de agua, conservando mejor la humedad y, al tener mayor superficie de exposición, las raíces de los vegetales se adhieren al medio edáfico de una manera más eficiente ocurriendo un proceso de absorción de nutrientes más efectivo (Durán y Henríquez, 2007).

**Cuadro 1.4** Caracterización física de tratamientos, de acuerdo a la NMX-FF-109-SCFI-2008.

Tratamientos	Color (Tabla Munsell)	Humedad (%)	DAP g ml <sup>-1</sup>
T0	3/2 5YR Café rojizo oscuro	21.22ab	0.95ab
T1	3/2 7.5YR Café oscuro	30.64 <sup>a</sup>	0.95ab
T2	3/2 7.5YR Café oscuro	29.68 <sup>a</sup>	0.88b
T3	3/2 7.5YR Café oscuro	29.45 <sup>a</sup>	0.95ab
T4	3/2 7.5YR Café oscuro	32.37 <sup>a</sup>	0.84bc
T5	3/2 7.5YR Café oscuro	32.52 <sup>a</sup>	0.80bc
T6	3/2 7.5YR Café oscuro	20.47ab	0.82bc
T7	3/2 7.5YR Café oscuro	32.24 <sup>a</sup>	1.05a
T8	2.5/1 5YR Negro	4.38b	1.02a
T9	2.5/1 5YR Negro	3.10c	0.72c
Media		23.61	0.90

Los tratamientos que cumplen las especificaciones que señala la norma NMX-FF-109-SCFI-2008, que se presenta en el Cuadro 1.3, son los tratamientos T2, T4, T5, T6 y T9, estos resultados concuerdan con los obtenidos por Moreno *et al.* (2005) quienes recomiendan el uso de humus obtenidos de estiércol y desechos vegetales como sustrato por su textura idónea.

La importancia de esta variable radica en la capacidad para conservar la humedad y permitir la liberación de los nutrientes de manera controlada al contacto con las raíces de las plantas, se tiene así que los humus obtenidos en este estudio al estar compuestos por partículas pequeñas poseen una gran cantidad de microporos que permiten la retención de agua, conservando mejor la humedad y, al tener mayor superficie de exposición, las raíces de los vegetales se adhieren al medio edáfico de una manera más eficiente ocurriendo un proceso de absorción de nutrientes más efectivo (Durán y Henríquez, 2007).

#### **1.3.4.2 Caracterización química de los sustratos orgánicos**

De acuerdo a Burés (1997), un sustrato puede ser más o menos estable en el tiempo en función de su reactividad química, puesto que el material, que compone al sustrato puede reaccionar con la fase química, liberando o adsorbiendo elementos nutritivos o bien, puede ser material que no se descomponga, ni libere elementos solubles. Las propiedades químicas del sustrato se refieren de un modo macroscópico a las reacciones de disolución e hidrolisis de los constituyentes minerales, intercambio de iones o descomposición de la materia orgánica (MO), utilizada generalmente para la caracterización química (Cuadro 1.5)

**Cuadro 1.5** Resultados estadísticos, de los análisis químicos de los tratamientos de acuerdo a la norma NMX-FF-109-SCFI-2008.

Tratamientos	Dosis	pH	CE dS m <sup>-1</sup>	%M.O	%Nt	C/N	CIC cmol(+) kg <sup>-1</sup>
T0	Testigo comercial	6.25bc	1.18de	61.25a	1.61ab	22.38bc	8.81ab
T1	75%Ca+ 25%B	5.95cd	3.92ab	41.87ab	1.19cd	11.13d	9.69ab
T2	50%Ca+ 25%B +25%EG	6.30bc	1.58cde	57.50a	1.47bc	20.65bc	14.54a
T3	25%Ca+ 25%B +50%EG	6.76b	2.82bc	22.50b	1.47 bc	22.70bv	9.25ab
T4	50%Ca+ 25%B +25%CC	5.83d	3.29b	37.50ab	1.19cd	18.64c	9.69ab
T5	25%Ca+ 25%B +50%CC	6.52bc	4.99a	55.75a	1.28c	25.92b	10.13ab
T6	50%Ca+ 25%B +12.5%EG+12.5%CC	6.62b	2.59bcd	46.50ab	1.68 <sup>a</sup>	16.24c	11.46ab
T7	25%Ca+ 25%B +25%EG+25%CC	6.65b	3.29b	60.50a	1.54ab	23.09b	7.05b
T8	25%Ca+ 25%B +50%BC	6.50bc	2.35bcd	60.50a	1.12cd	31.33 <sup>a</sup>	9.69ab
T9	50%Ca+ 25%B 25%BC	7.77a	0.71e	63.50a	1.12cd	32.69 <sup>a</sup>	10.13ab
Media		6.52	2.68	50.74	1.36	22.47	9.89
CV(%)		0.08	0.48	0.26	0.21	6.49	0.20
Prob. de F		0.000**	0.000**	0.001**	0.001**	0.002**	0.163NS

**\*\*:** Altamente significativo, **NS:** No significativo. Cifras con las mismas letras son estadísticamente iguales (Tukey  $\leq 0.05$ )

T0: testigo vermicomposta comercial, T1:vermicomposta 75%cachaza+25bagazo, T2:vermicomposta 50% de cachaza+25%de cachaza+25% de estiércol de ganado, T3:vermicomposta 25% de cachaza+25% de bagazo+50% de estiércol de ganado ,T4:vermicomposta 50% de cachaza+25%de cachaza+25% de cascarilla de cacao, T5:vermicomposta 25% de cachaza+25% de cachaza+50% de cascarilla de cacao, T6:vermicomposta 50% de cachaza+25%de cachaza+12.5% de estiércol de ganado+12.5% de cascarilla de cacao, T7: vermicomposta 25% de cachaza+25% de bagazo+25% de estiércol de ganado+25% de cascarilla de cacao, T8:vermicomposta de 25% de cachaza+25% de bagazo+50% de biochar de encino, T9:vermicomposta 50% de cachaza+25% de bagazo+25% de biochar de encino, CE: conductividad eléctrica, MO: materia orgánica, Nt: nitrógeno total, C/N: relación carbono-nitrógeno, CIC: capacidad de intercambio catiónico.

### 1.3.4.2 pH

La norma establece para el pH un intervalo óptimo entre 6.5 a 8.8. En el Cuadro 1.6, se presentan los valores del pH por tratamiento, Los valores de pH para los nueve tratamientos oscilaron de 5.84 a 7.7 por lo que se encuentran dentro de la norma; los cuales concuerdan con lo encontrado por otros autores (Melgarejo *et al.*,1997; Castillo *et al.*,2000; López-Jiménez *et al.*, 2003; Delgado *et al.*, 2004; Garg *et al.*, 2005; Singh *et al.*, 2005; Gutiérrez *et al.*, 2007), quienes reportaron valores que tienden a lo alcalino en los estiércoles animales a diferencia de los desechos de cocina y restos vegetales que tienden a lo ácido o neutro; así mismo los valores de pH en los humus obtenidos a partir de estos desechos presentaron valores cercanos al pH neutro. De acuerdo con los resultados del ANOVA, se encontraron diferencias altamente significativas, entre tratamientos (Cuadro 1.5). Además el error estándar muestra poca amplitud, con lo cual se deduce que hay un efecto claro de los tratamientos sobre este parámetro.

**Cuadro 1.6 Clasificación del pH, de acuerdo a la clasificación de la NOM-023-2000**

Tratamientos	pH	Clasificación (NOM-023-2000)
T0	6.25	Moderadamente ácido
T1	5.96	Moderadamente ácido
T2	6.31	Moderadamente ácido
T3	6.76	Neutro
T4	5.84	Moderadamente ácido
T5	6.53	Moderadamente ácido
T6	6.63	Neutro
T7	6.65	Neutro
T8	6.51	Moderadamente ácido
T9	7.77	Moderadamente alcalino

Al respecto, el tratamiento 9 presentó un pH de 7.77 más alto, por lo que es considerado moderadamente alcalino (NOM-021-SEMARNAT-2000), esto podría deberse a la poca generación de ácidos orgánicos por parte de la descomposición del biochar. Sin embargo, en la mayoría de los tratamientos se presentaron grados de



acidez moderados, siendo el tratamiento el T4 (pH 5.84) el más bajo, lo cual indica la presencia de una mayor presencia de ácidos orgánicos por una mayor descomposición de los sustratos (Durán y Henríquez, 2007; Salgado et al., 2010).

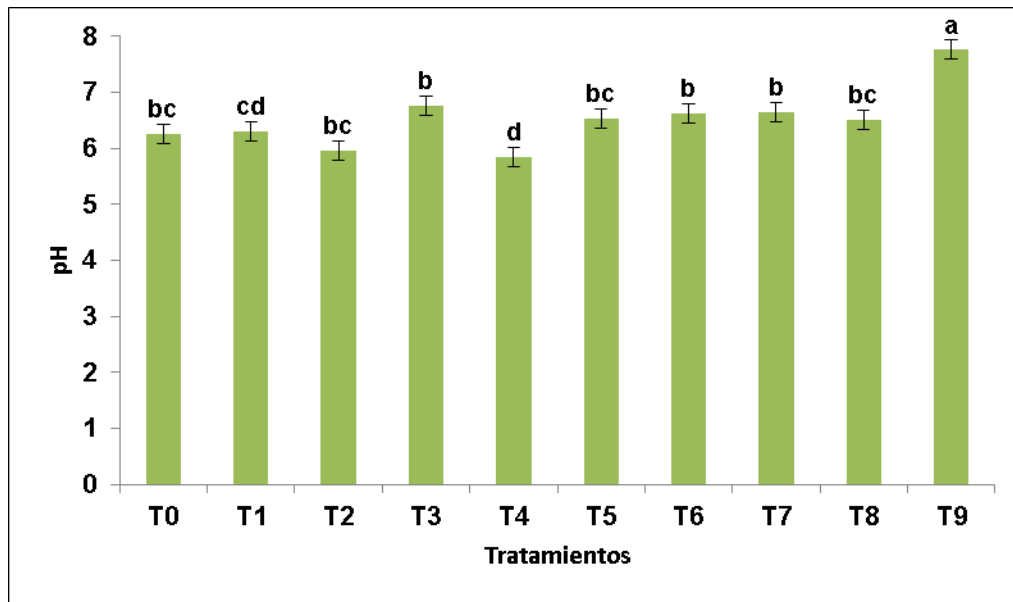


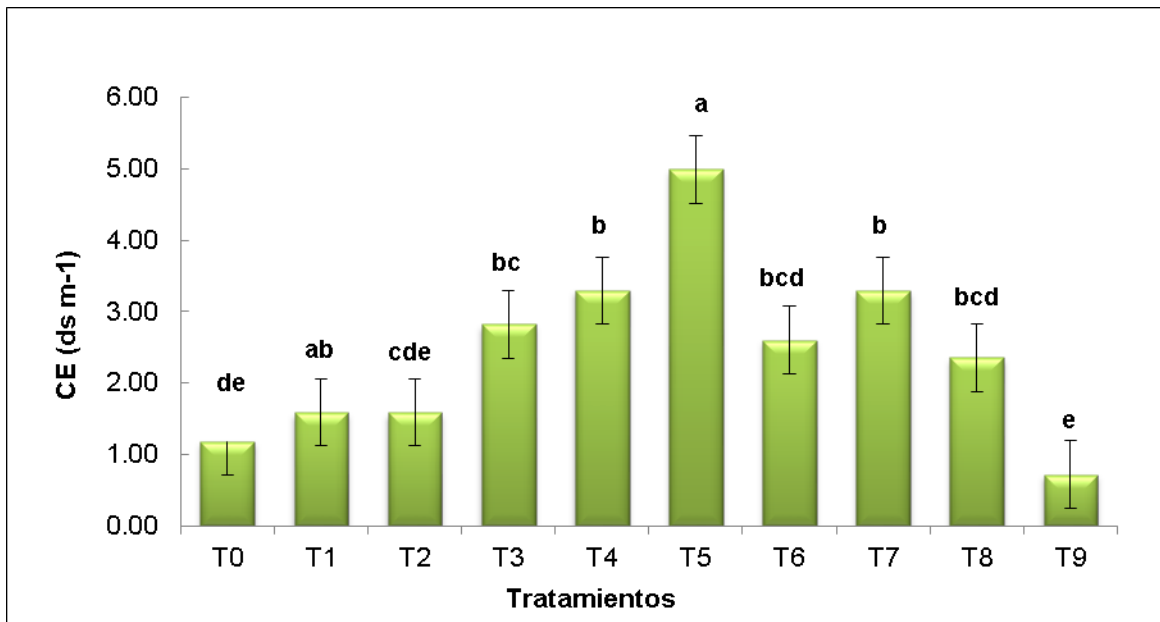
Figura 1.11 Comportamiento del pH en los tratamientos evaluados, letras iguales indican medias estadísticamente similares.

#### 1.4.2.2 Conductividad eléctrica (CE)

Los tratamientos presentaron diferencias significativas con respecto a la CE; en la Figura 1.12, se muestra el comportamiento de la conductividad eléctrica, el mayor grado de salinidad lo presentó el tratamiento T5 con un valor de  $4.99 \text{ dS m}^{-1}$ , mientras que los tratamientos: T1( $3.92 \text{ dS m}^{-1}$ ), T3( $2.82 \text{ dS m}^{-1}$ ), T4( $3.29 \text{ dS m}^{-1}$ ), T6( $2.59 \text{ dS m}^{-1}$ ), T7( $3.29 \text{ dS m}^{-1}$ ) y T8 ( $2.35 \text{ dS m}^{-1}$ ) se ubican dentro de los moderadamente salinos, en el caso de los tratamientos T0 (Testigo comercial), T2( 75% Ca+ 25% B) y T9 ( $0.72 \text{ dS m}^{-1}$ ) se clasifican como muy ligeramente salinos según la norma para suelos (NOM-021-SERMANAT-2000).

Por otro lado, la norma NMX-FF-109- SCFI-2008, especifica que los valores de CE debe ser  $<2 \text{ dS m}^{-1}$ , por lo que solo el sustrato comercial (T0) y los tratamientos ( $1.18 \text{ dS m}^{-1}$ ), T2 ( $1.59 \text{ dS m}^{-1}$ ) y T9 ( $0.72 \text{ dS m}^{-1}$ ) cumple con las especificaciones de la norma para vermicompostas.

Es de notar, sin embargo, que realmente en ningún caso la salinidad esta fuera de los límites manejables según las especificaciones para suelos agrícolas. Las diferencias encontradas entre los tratamientos, indican que los sustratos evaluados se comportaron en forma distinta en cuanto a los valores de CE; sin embargo en la mayoría de los tratamientos presentaron conductividades mayores a  $2 \text{ ds m}^{-1}$ .



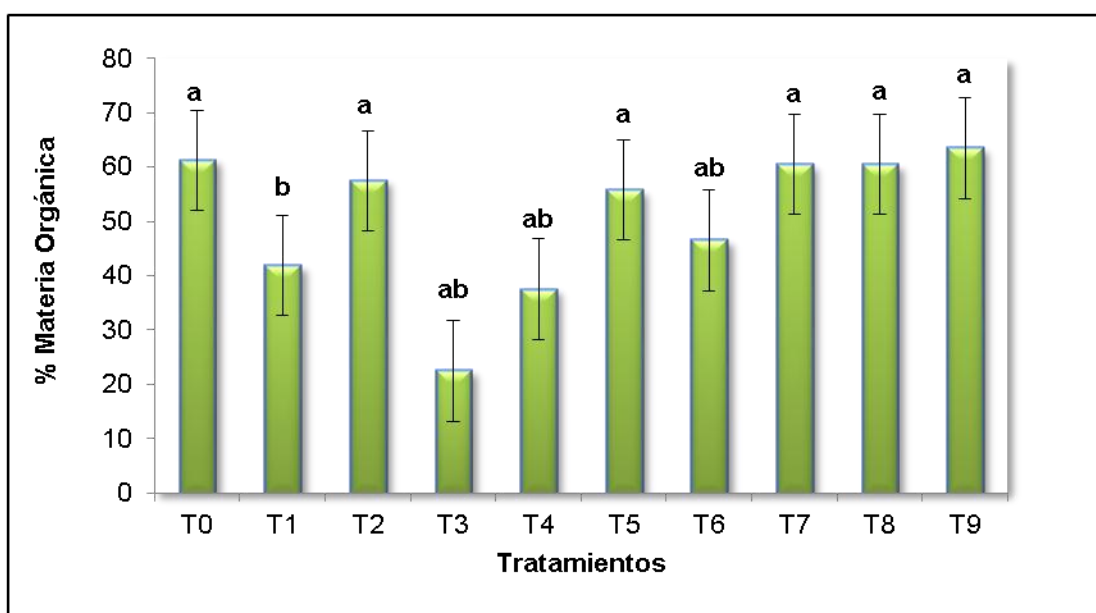
**Figura 1.12** Valores de medias conductividad eléctrica (salinidad) en los tratamientos, letras iguales indica que son medias estadísticamente similares.

### 1.4.3 Materia orgánica (MO)

Los tratamientos presentaron diferencias significativas en los contenidos de MO (Figura 1.13) presenta el contenido de los porcentajes de MO, obtenidos en el experimento, la norma de lombricompostas (NMX-FF-109-SCFI-2008), establece que el rango óptimo de MO, debe ser de 20 a 50% de MO, por lo que, sólo los tratamientos T1 (41.87%), T3(22.50%),T4(37.50%) y T6(46.50%) se encontraron en mencionado intervalo, sin embargo los otros tratamientos están por encima de los rangos establecidos por la norma Estos datos concuerdan con el trabajo de Vivas, (2009), quién señala que los residuos de origen vegetal, tienen mayores cantidades de materia orgánica, que los residuos de origen animal, es decir, en residuos de tipo vegetal se encuentra una menor complejidad en sus estructuras que dificultan la transformación y estabilización

de la MO (Ginés y Navarro, 2003), por otro lado, Castillo *et al.*, (2000) mencionan que existe un mayor concentración de MO para vermicompostas realizadas con estiércol, en comparación a las realizadas con residuos vegetales.

El contenido de MO en los tratamientos varió de 63.5% a 23,3%, correspondiendo los mayores contenidos de MO a los tratamientos que están compuestos de restos vegetales; T9(63.5%) y T0(61.2%); el menor porcentaje de materia orgánica se obtuvo en el tratamiento T1; varios autores indican rangos amplios para contenidos de MO en sustratos orgánicos producidos con diferentes residuos orgánicos, los cuales van desde 8,6 a 59,81% (Moreno *et al.*, 2005; Durán y Henríquez, 2007; Hernández *et al.*, 2008; Márquez *et al.*, 2008).

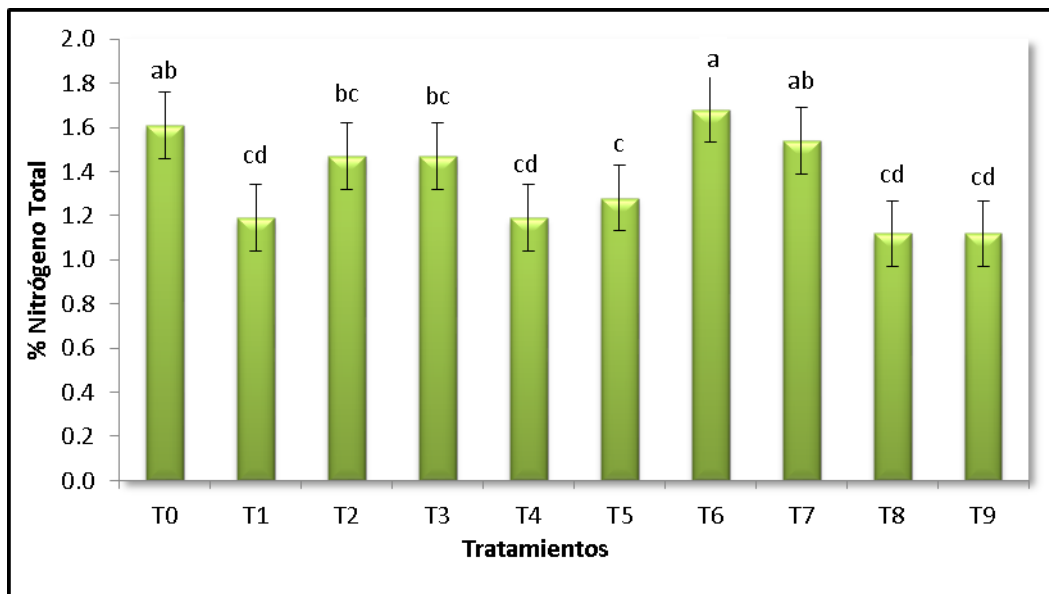


**Figura 1.13** Contenidos de materia orgánica, letras iguales indican medias que son estadísticamente similares.

#### 1.4.5 Nitrógeno total (NT)

La Figura 1.14 muestra el comportamiento de los niveles de NT en los tratamientos, los valores obtenidos cumplen lo señalado en la norma de lombricompostas (NMX-FF-109-SCF1-2008), que establece rangos de 1 a 4%. En el experimento los valores de NT oscilan de 1.12 a 1.68%, es decir se encuentran en parte baja del rango. Sin embargo, la NOM-021-SEMARNAT-2000, señala que con valores >0.25 en suelos, el NT se

considera muy alto. Estos resultados concuerdan en parte con los datos obtenidos por Rodríguez *et al.*, (2008), que obtuvieron valores de NT de 0.38 a 1.10% en sustratos orgánicos para la producción de tomate. Al respecto, Vásquez (1999) y Paco *et al.* (2011), indican que el contenido de nitrógeno en la vermicomposta depende del tipo de sustrato que se suministra a la lombriz, por lo que cuando se tiene poca variación en sustratos se espera que los valores de NT no variaran mucho.



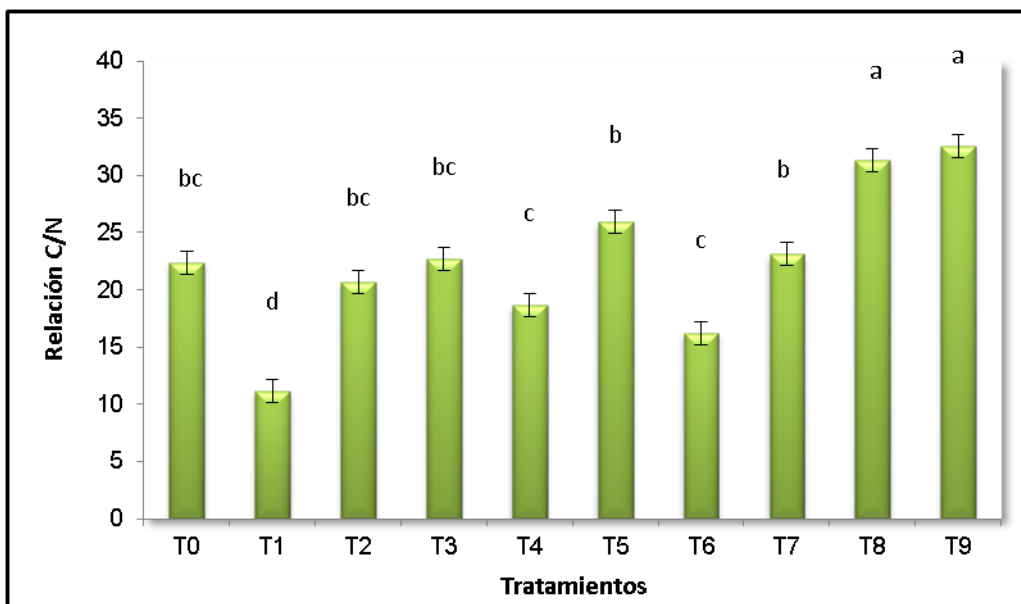
**Figura 1.14** Comportamiento del nitrógeno total en los tratamientos, letras iguales indican que las medias son estadísticamente similares.

#### 1.4.8 Relación Carbono-Nitrógeno (C/N)

La relación C/N, se considera como un indicador de la viabilidad de descomposición de la MO; es decir, como indicador de la madurez, el grado de madurez y de la estabilidad de la MO, puesto que su valor depende del material original y decrece a medida que la MO se descompone (Burés, 1997).

Los tratamientos se comportaron estadísticamente diferentes, los valores oscilaron, de 11.13-32.69 (Figura 1.15), siendo el menor el tratamiento T1 (75%Ca+25%B) y el mayor el T9 (50%Ca+25%B+25%BC), la norma NMX-FF-109-SCFI-2008, establece valores menores o iguales a 20, por lo que, solo los tratamientos T1(11.13), T4(18.64) y

T6(16.24) cumplen esta norma, misma que señala, que relación C/N, está vinculada con el grado de estabilización orgánica; es decir, cuando la lombricomposta no supera el valor de 20, está madura.

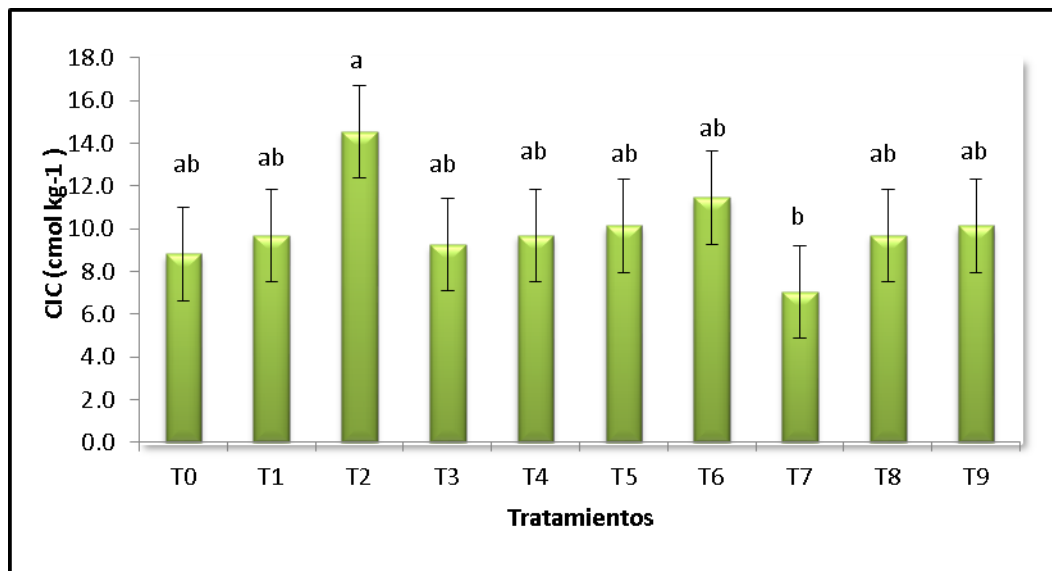


**Figura 1.15** Dinámica de la relación C/N en los tratamientos, medias con la misma letra indica que son estadísticamente iguales.

Sin embargo; los resultados de los tratamientos, T0(22.38), T1(11.13), T2(20.65), T3(22.70), T4(18.60), T6(16.24) y T7(23.09), concuerdan con los resultados obtenidos por Durán y Henríquez (2007), quienes reportan valores, de C/N en un intervalo 10 y 25, para vermicompostas, valores que indican que la composta está debidamente estabilizada. Asimismo, Soto y Muñoz (2002), determinaron que los valores óptimos de una vermicomposta, se encuentran entre 20:1 y 30:1 de C/N. Por otro lado Rodríguez y Córdova (2006), deducen si existe mayor contenido de N origina malos olores produciendo una mezcla viscosa, asimismo, compostas con relaciones C/N >30, pueden provocar la inmovilización microbial del N en el suelo. Salgado *et. al.*, (2006), indica que una relación de C/N a 12 menor significa que habrá una mineralización neta, y que por lo tanto, N se tendrá N mineral disponible en el suelo. Una relación mayor de 25 representa una inmovilización neta por lo que el suelo carecerá de N disponible para el cultivo.

### 1.4.7 Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

En la Figura 1.17 se representa la CIC, de los tratamientos, la norma de lombricompostas (NMX-FF-109- SCFI -2008), indica que las vermicompostas deben de tener valores  $> 40 \text{ cmol kg}^{-1}$ , los tratamientos presentan intervalos de  $7.05\text{-}14.54 \text{ cmol kg}^{-1}$ , por lo que los tratamientos se encuentran por debajo de los valores que la norma específica, siendo el mayor el tratamiento T2( $14.54 \text{ cmol kg}^{-1}$ ) y el T8 el menor ( $7.05 \text{ cmol kg}^{-1}$ ). Probablemente en este caso es necesario agregar suelo con buenos contenidos de arcilla, como un componente más de la composta para poder tener una mayor cantidad de cargas negativas en el complejo argilo-húmico y, de esta manera, incrementar la CIC (Sánchez-Hernández *et al.*, 2007)



**Figura 1.16** Comportamiento de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en los tratamientos, medias con letras iguales son similares estadísticamente.

### 1.4. Conclusiones

Durante el proceso de compostaje, los resultados indicaron que los tratamientos T2(50%Ca+25%B+25%EG), T6(50%Ca+25%B+12.5%EG+12.5%CC) T3(50%Ca+25%B+25%EG); provenientes de diferentes dosis de estiércoles son mejores para la adaptación y reproducción (dinámica poblacional) de las lombrices en comparación con los otros tratamientos. Los resultados refieren que el tipo de materia prima utilizada

para la elaboración del vermicompostas determinará en mucho las características finales del material.

Los datos mostraron variabilidad en las propiedades físicas y químicas entre los diversos sustratos orgánicos obtenidos; por lo que sólo los tratamientos T1(75%Ca+25%B),T3(25%Ca+25%B+50%EG),T4(50%Ca+25%B+25%CC)yT6(50%Ca+25%B+12.5%EG+12.5%CC) cumplen con la norma NMX-FF-109-SCFI-2008 humus de lombriz (lombricomposta) - especificaciones y métodos de prueba vermicompost. Sin embargo, los resultados obtenidos son aceptables en la mayoría de las variables y coinciden con los encontrados por otros autores. Los valores de la variable CIC fueron bajos con respecto a la norma por lo que se sugiere agregar suelo como componente de la composta para mejorarlas.

## 1.5 Literatura citada

- Aira, M.; on Domínguez, J; 2006. C to N ratio strongly affects population structure of *Eisenia fetida* in vermicomposting systems. European Journal of Soil Biology 42: S127–S131
- Arreola-Enríquez, J ; Palma-López, D. J.;Salgado-García 2004. Evaluación de abono órgano-mineral de cachaza en la producción y calidad de la caña de azúcar TERRA Latinoamericana. 22(3):351-357
- Atiyeh, R. M. Subler, S., Edwards, C. A., Bachman, G., Metzger, J. D., and Shuster, W. 2000. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. Pedobiologia. 44: 579-590.
- Bansal, S., and K.K. Kapoor. 2000. Vermicomposting of crop residues and cattle dung with *Eisenia foetida*. Bioresource Technology 73:95-98.
- Barbado L. 2003Cría de lombrices, Lombricultura Micro emprendimientos. 1ra Edición. Editorial MPS S.R.L. Buenos Aires Argentina.:128p.
- Brown, G.G., Moreno, A.G., Barois, I., Fragoso, C., Rojas, P., Hernández B., Patrón J.C. 2004. Soil macrofauna in SE Mexican pastures and the effect of conversion from native to introduced pastures. Agriculture, Ecosystems and Environment 103: 313–327

- Burés S. 1997. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas, S.L. Madrid, España 49-154.
- Cabral D., Marques C. Dias I., Fontoura da Silva N., Dantas C., Borges P y Bisol A.(2006). Microbiological quality of organic vegetables produced in soil treated with different types of manure and mineral fertilizer. Journal of Microbiology37:538-544.Disponible en:<http://www.scielo.br/pdf/bjm/v37n4/v37n4a25.pdf12/10/2012>
- Castillo, A.E., Quarín, S. H. and Iglesias, M. C., 2000. Caracterización química y física de compost de lombrices elaborados a partir de residuos orgánicos puros y combinados. Agric. Téc. (Chile). 60(1): 74-79.
- Delgado M.M, Porcel M.A., Miralles R., Beltrán E., Beringola L. y Martín J.V., 2004. Efecto de la vermicultura en la descomposición de residuos orgánicos. Rev. Inter. Contam. Amb. 20: 83-86.
- Domínguez J., Aira M., Gómez-Brandón M. 2010. Vermicomposting: earthworms enhance the work of microbes. En: Insam, H., Franke-Whittle, I., Goberna, M. (Eds). *Microbes at work: from wastes to resources*, Springer-Verlag, Berlin Heilderberg, Germany. 93-114.
- Durán, L. y Henríquez, C. 2007. Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. Agronomía Rev. Costarricense, 31(1): 41-51.
- FAO-Food and Agriculture Organization. 2006. Crop Water Management for Sugarcane.En: <http://www.fao.org/landandwater/aglw/cropwater/sugarcane.stm>.
- Ginés N.G y Navarro G. G. 2003. Química agrícola, el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. 2da Edición. Mundi.Prensa, Madrid España, 291p.
- Geissen., V. y G. Morales G. 2005. Fertility of tropical soils under different land use systemsa case study of soils in Tabasco, Mexico. Applied Soil Ecology , 31 (1)169-178.
- Gutiérrez, E.; Juárez, A. Mondragón, J. y Rojas, L. 2007. Dinámica poblacional de la lombriz *Eisenia foetida* en estiércol composteado y fresco de bovino y ovino, REDVET, 8(7): 253-257.



- Hernández GI, Salgado S, Palma-López, D.J., Lagunes, E. L del C, Castelán M, Ruiz O (2008) Vinaza y composta de cachaza como fuente de nutrientes en caña de azúcar en un Gleysol mólico de Chiapas, México. *Interciencia* 33(11): 855-860
- Inman-Bamber N.G. and Smith D.M., 2005. Water relations in sugarcane and response to waters déficits. *Fields Crops Research*, 92, 185-202 pp.
- Iñiguez G., Parra J. y Velasco P.A, 2006. Utilización de subproductos de la industria tequilera. Parte 8. Evolución de algunos constituyentes de la mezcla de biosólidos-bagazo de agave durante el compostaje. *Rev. Int. Contam.Ambient. (México)* 22 (2): 83-93
- Kale R. D., B.C. Malesh, K. Bano and D.J. Bagyaraaj., 1992. Influence of vermicompost application on the available macronutrients and selected microbial population in a paddy fields. *Soil Biol. Biochem.* 24: 1317-1320.
- Medina, L.F.; Jaime, M.; Chueca, C.; Bocanera, B.; Toro, F.; Mascaró, P. 2001. Presencia y cuantificación de *Azotobacter* sp. y *Azospirillum* sp. En lombricompuesto. Segunda Reunión de Producción Vegetal del NOA. San Miguel de Tucumán, Argentina.
- Medina, L.F.; Jaime, M.; Colacelli, N.; Mascaró, P.; Chueca, C. 2003. Características físico químicas de tres tipos de lombricompuesto. Tercera Reunión de Producción Vegetal y Primera de Producción Animal del NOA. San Miguel de Tucumán, Argentina.
- Miller C. M. (2011). Microbiological safety of organic fertilizers used for produce production. Master of Science Thesis. Graduate School of Clemson University. Disponible en: <http://proquest.umi.com/pqdlink?Ver=1&Exp=09-09-2016&FMT=7&DID=2370436161&RQT=309&attempt=1&cfc=1>
- Moreno A., Valdés M.T. y Zarate T., 2005. *Agricultura técnica*, Chile, 65: 26-34.
- Moreno, A.; Valdes, M. y Zarate, T. 2005. Desarrollo de tomate en sustratos de vermicompost/arena bajo condiciones de invernadero. *Agricultura Técnica*, 65(1):26-34.
- Ndegwa, P. M.; Thompson, S. A.; Dass, K. C. 2000. Effects of stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids. *Biores. Technol.* 71: 5-12

- NMX-FF-109-SCFI-2008 humus de lombriz (lombricomposta) - especificaciones y métodos de prueba vermicompost (worm casting) - specifications and test methods. México.
- NOM-023-RECNAT-2001. Especificaciones técnicas que deberá contener la cartografía y la clasificación para la elaboración de los inventarios de suelos. Disponible en:  
<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/PPD1/NO M023.pdf>
- Paco, G., Loza-Murguía, M., Mamani, F. 2011. Efecto de la Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) durante el composteo y vermicomposteo en predios de la Estación Experimental de la Unidad Académica Campesina Carmen Pampa. *J. Selva Andina Res. Soc.*, 2(2)24-39
- Pérez Méndez, M. A.; Sánchez Hernández, R.; Palma-López, D.J.; Salgado García, S. Caracterización química del compostaje de residuos de caña de azúcar en el sureste de México INTERCIENCIA, vol. 36, núm. 1, enero, 2011, 45-52
- Pernalet Z, Piña F, Suárez M, Ferrer A, Aiello C (2008) Fraccionamiento del bagazo de caña de azúcar mediante tratamiento amoniacal efecto de la humedad del bagazo y de la carga de amoniac. *Rev. Bioagro* 2: 3-10.
- Salgado-García S., Palma-López D. J., Nuñez-Escobar R., Lagunes-Espinoza. L. del C., Deberdardi De la V. H. y Mendoza Hernández R. H. 2010. Manejo de fertilizantes y abonos orgánicos. Campus Tabasco, Colegio de Postgraduados-Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción en el Trópico Húmedo de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México. 210 p
- Salgado G. S., Palma-López, D. J, Nuñez E. R, Lagunes E. L., Deberdardi D. H y Mendoza H. R. 2006. Manejo de fertilizantes y abonos orgánicos. Campus Tabasco, Colegio de Postgraduados-Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción en el Trópico Húmedo de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, 210
- Salgado G., S., Bucio A., D., y Lagunes E. L. C. 2003 CAÑA DE AZÚCAR: Hacia un manejo sustentable. ISBN 968-839-331-2. Campus Tabasco, Colegio de

- Postgraduados-Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción en el Trópico Húmedo de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, 384p.
- Sánchez R., Ordaz V.M., Benedicto G.S., Hidalgo C.I. y Palma D.J., 2005. Cambio en las propiedades físicas de un suelo arcilloso por aportes de lombricomposteo de cachaza y estiércol. *Interciencia* 30: 765-779.
- Sánchez-Hernández R, Ordaz Chaparro VM, Benédicto Váldez G.S.,Palma-López D.J. y Sánchez Bólon Judith 2007. Chemical characteristics of several vermicomposts in Mexico. *Compost Sciencia & utilization*. (15)1 47-52
- Sánchez-Hernández R, Ordaz-Chaparro VM, Palma-López DJ, Sánchez BJ (2006) *El Vermicompostaje: Elemento Útil en la Agricultura Sustentable*. Fundación Produce Tabasco. Colegio de Postgraduados. Tabasco, México. 47 p.
- Santamaría, S.; Ferrera-Cerrato, R.; Almaraz, J.; Galvis, A. y Barois, I. 2001. Dinámica y relaciones de microorganismos, C-orgánico y N-total durante el composteo y vermicomposteo. *Agrociencia*, 35(4): 377-384.
- SEMARNAT, 2005. Cruzada Nacional por un México Limpio, Subdelegación de Planeación y Fomento Sectorial. En: <http://www.semarnat.gob.mx/slp/mexicolimpio/mexicolimpio.shtml>
- Shlomit, A; Michael, A; Ibrahim, S; Yael, L;. 2009. Methodological aspects of microcalorimetry used to assess the dynamics of microbial activity during composting *Bioresource Technology*, 100: 4814–4820
- Soto, G., y Muñoz, C. 2002. Consideraciones teóricas y prácticas sobre el compost y su empleo en la agricultura orgánica. *Manejo Integrado de Plagas*. 65:123-129.
- Soto, G. y R. Muschler. 2001. Génesis, fundamentos y situación actual de la agricultura orgánica. *Manejo integrado de plagas* No. 62 pp. 101-105.
- Tognetti C., Laos F., Mazzarino M.J., Hernández M.T. 2005. Composting vs vermicomposting: A comparison of end product quality. *Compost Science & Utilization* 13(1):6-13.
- Trewavas, A., 2004. A critical assessment of organic farming-and-food assertions with particular respect to the UK and the potential environmental benefits of no-till agriculture. *Crop Protection*, 23: 757-781.

- Váldez Balero, A; Guerrero Peña, A.; García López; E; Obrador Olán, J.J. 2009. Manual para el cultivo y producción de la caña de azúcar. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas Tabasco. México,1-3
- Vivas, A; Moreno, B; García, R; Benitez, E; 2009. Assessing the impact of composting and vermicomposting on bacterial community size and structure, and microbial functional diversity of an olive-mill waste. *Bioresource Technology* 100: 1319–1326.

## **CAPITULO 2. EVALUACION DE SUSTRATOS ORGÁNICOS PARA LA PRODUCCION DE PLÁNTULAS DE CAÑA DE AZUCAR EN EL TROPICO HUMEDO**

### **2.1 Introducción**

La caña de azúcar es uno de los cultivos más rentables en el estado de Tabasco y requiere de manejo intensivo para sostener la producción, con uso excesivo de insumos químicos, quemas y mecanización; lo que por consecuencia se han convertido en los factores que inciden en la reducción de la materia orgánica del suelo, incremento de la erosión del suelo, reducción de la fertilidad y disminución de la densidad de poblaciones microbianas benéficas para el cultivo (Valdez *et al.*, 2009). Al mismo tiempo, la caña de azúcar ha presentado problemas de despoblación, causa que incide en bajos rendimientos agrícolas e incremento de las arvenses de los campos, (Aguilar, 2011).

Actualmente se está dando mayor importancia al uso de alternativas que permitan recuperar los suelos, de tal forma que se logre una producción óptima sin deterioro del medio, una de estas alternativas es la utilización de sustratos orgánicos (Pérez *et al.*, 2011). Fonteno *et al.* (2000), definen a un sustrato orgánico, como un material o combinación de diferentes componentes que, no siendo tóxico, provea sostén, adecuada capacidad de intercambio catiónico, retención de humedad y una porosidad que garantice una correcta aireación para un óptimo desarrollo radical.

El uso de sustratos orgánicos ha cobrado gran importancia por diversas razones, entre ellas el punto de vista económico; además su uso se ha fomentado por la agricultura orgánica, ya que es una respuesta amigable al ambiente para la mejora en las prácticas agrícolas (Nieto-Garibay *et al.*, 2002). Dentro de los sustratos orgánicos, sobresale la vermicomposta, debido a que sus procesos de elaboración son métodos biológicos que transforman restos orgánicos de distintos materiales en un producto relativamente estable (Claassen y Carey, 2004); como sustrato permite satisfacer la demanda nutritiva de los cultivos hortícolas en invernadero y reduce significativamente el uso de fertilizantes sintéticos (Félix *et al.*, 2010).

Además, la vermicomposta contiene sustancias activas que actúan como reguladores de crecimiento, elevan la capacidad de intercambio catiónico (CIC), tiene alto contenido de ácidos húmicos, y aumenta la capacidad de retención de humedad y la porosidad, lo que facilita la aireación, drenaje del suelo y los medios de crecimiento (Hashemimajd *et al.*, 2004; Rodríguez *et al.*, 2008). De acuerdo a Rodríguez (2004), el sustrato tiene cuatro funciones importantes: 1) proveer el agua suficiente a la plántula, 2) suministrar los nutrientes, necesarios para el buen desarrollo y crecimiento de la plántula, 3) permitir el buen intercambio entre la atmosfera y el sustrato y 4) servir como soporte físico a la plántula. Lo que concuerda con Díaz *et al.* (2004), la lombricomposta o humus de lombriz reúne estos requisitos: sirve de sostén a la planta, permite el intercambio de aire, facilita la absorción de agua por las raíces y el drenaje, favorece la nutrición y en consecuencia, el crecimiento de la planta. Considerando lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar, el uso de sustratos orgánicos producidos con lombricompostas, como alternativa para la producción de plántulas de caña de azúcar en dos variedades comerciales de caña de azúcar.

## **2.2 Materiales y método**

### **2.2.1 Descripción del Área de Estudio.**

La fase experimental se desarrolló en dos etapas: 1) establecimiento de vivero y 2) evaluación fisicoquímica de los tratamientos. El área de estudio está ubicada geográficamente en los 17°58'34" de Latitud Norte y los 93° 23'16" de Longitud Oeste, en las instalaciones del Colegio de Postgraduados Campus Tabasco, ubicadas en el Municipio de Cárdenas, Tabasco, México.

El área presenta un clima cálido húmedo con lluvias en verano (Am), con temperatura promedio de 26.3°C, con una máxima media mensual de 30.3°C en mayo y una mínima media mensual de 20°C en diciembre y enero. La precipitación media anual es de 2,643 mm, con un promedio máximo mensual de 335 mm en septiembre y un mínimo de 0 mm en abril.

La humedad relativa promedio anual está estimada en un 83%, con una máxima de 86% en enero y febrero y una mínima de 77% en mayo. Los mayores vendavales

ocurren en los meses de noviembre y diciembre, con máximas de 30 km h<sup>-1</sup> y los menores en junio, con máximas de 20 km h<sup>-1</sup> (INEGI, 2005).

### **2.2.2 Diseño experimental y tratamientos**

Se colectaron las yemas de caña de azúcar de las variedades CP 72-2086 y MEX 69-290, las cuales fueron obtenidas del banco de variedades del Campo experimental del Colegio de Postgraduados Campus Tabasco; las cuáles fueron desinfectadas por tratamiento térmico. Para conformar los tratamientos se utilizaron nueve sustratos orgánicos, que fueron obtenidos por vermicompostaje en experimento previo a este trabajo (Cuadro 2.1) y un sustrato comercial Cosmopeat<sup>®</sup> (Testigo); el diseño de los tratamientos fue un factorial 10X2 (diez sustratos por 2 variedades), con cinco repeticiones, los cuáles se establecieron en vivero con un diseño experimental completamente al azar.

### **2.2.3 Establecimiento del experimental**

Se colectaron 15 tallos de cada una de las variedades de caña seleccionadas, las cuales tenían 8 meses de edad, de cada tallo se cortaron ocho yemas, procurando dejar 1 cm. de cada lado de la yema, para cada variedad, la siembra se realizó en bolsas negras de polietileno de 10 X 15 cm, las cuáles se llenaron con una mezcla de 250 g de sustrato orgánico+100 g de suelo de la región de textura arenoso-arcillosa, en cada una de las bolsas ya con el sustrato, se sembró una yema, la cual fue cubierta con 2 cm del mismo sustrato ; por último fueron humedecidas hasta capacidad de campo y se distribuyeron en el suelo para conformar cada unidad experimental. Se realizaron verificaciones diarias para supervisar la presencia de plagas y/o enfermedades, y mantener la humedad a capacidad de campo, con riegos por unidad experimental.

**Cuadro 2.1 Origen de los residuos con que se produjeron los sustratos orgánicos obtenidos por vermicompostaje y el testigo comercial.**

TRATAMIENTO	SUSTRATOS
T0	Cosmopeat®
T1	75%Cachaza (Ca) +25%Bagazo (B)
T2	50% deCa+25% de B+ 25% Estiércol de ganado (EG)
T3	25%Ca+25%B + 50% EG
T4	50% de Ca+25% B 25% Cascarilla de cacao (CC)
T5	25%Ca+25%B + 50 % CC
T6	50% deCa+25% de B+ 12.5 % EG + 12.5% CC
T7	25%Ca+25%B + 25% EG + 25% de CC
T8	25%Ca+25%B + 50% de Biochar (BC)
T9	50% deCa+25% de B+25% de BC

#### **.2.4 Variables de estudio.**

- I. Planta.** Se determinaron los siguientes parámetros:
  - a) Tiempo y porcentaje de germinación, de las yemas.
  - b) Número de hojas. Se determinó por conteo directo, a cada unidad experimental (planta), por tratamiento en las dos variedades.
  - c) Altura de la planta: Se midieron los tallos de cada unidad experimental por tratamiento, con una cinta métrica flexible se midieron desde la base al nivel del suelo hasta la punta de la hoja apical y se obtuvo el promedio, por tratamiento.
  - d) Diámetro del tallo: A los tallos utilizados en el punto anterior, se les midió el diámetro en la parte media del tallo con un vernier.
- II.** A los 116 días, se colectó además la biomasa aérea y se determinaron los siguientes parámetros:



Se seleccionó para cada tratamiento tres unidades experimentales promedio (plántulas con vigor semejante), de acuerdo a la altura, diámetro, número de hojas; para determinar materia seca de cada variedad (Salgado *et al.*, 2006). El material vegetal fue molido para realizar el análisis foliar de N (Método de Kjeldahl), P y K digestión con HNO<sub>3</sub>.HCl<sub>4</sub> (Jones *et al.*,1991), a los sustratos orgánicos de cada tratamiento y sus tres repeticiones se les realizaron análisis químicos (Cuadro 2.2), conforme a la norma NMX-109-FF-SCF-2008 al inicio y final del experimento.

**Cuadro 2.2** Métodos utilizados en análisis químicos de sustratos orgánicos.

Determinación	Método
pH	Potenciómetro (Etcheveres,1988)
Conductividad eléctrica	Potenciómetro (Santamaría-Romero <i>et al.</i> , 2001)
Nitrógeno total	Semimicro-Kjeldahl (Bremner,1965)
Capacidad de intercambio catiónico	Acetato de amonio1N pH 7(Chapman,1965)
Materia orgánica	Calcinación o combustión seca (Jackson,1982)

### 2.2.5 Análisis estadísticos.

Los datos de cada una de las variables de estudio se analizaron estadísticamente por medio de un análisis de varianza y comparación de medias de Tukey ( $P < 0.05$ ), con el programa computacional SAS 9.3.

### 2.3. Resultados y discusión

La caracterización nutricional de los sustratos utilizados para la siembra directa de las yemas de caña de azúcar, se presenta en el Cuadro 2.3, donde se observan contenidos adecuados de elementos nutritivos, alto contenido de materia orgánica, buena CE y la relación C/N indicó sustratos orgánicos estabilizados.

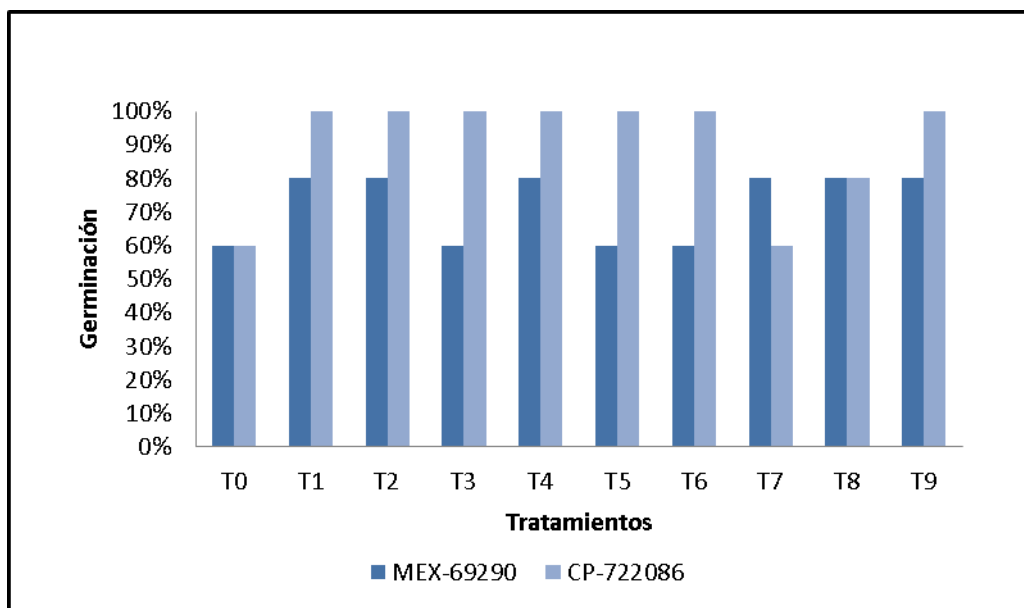
**Cuadro 2.3** Análisis químicos de sustratos orgánicos obtenidos por vermicompost

Componentes y concentración						
Sustratos	pH	CE	M.O	NT	C/N	CIC
		dS.m <sup>-1</sup>	%			cmol kg <sup>-1</sup>
T0	6.25	1.18	61.25	1.61	22.38	8.81
T1	5.95	3.92	41.87	1.19	11.13	9.69
T2	6.30	1.58	57.50	1.47	20.65	14.54
T3	6.76	2.82	22.50	1.47	22.70	9.25
T4	5.83	3.29	37.50	1.19	18.64	9.69
T5	6.52	4.99	55.75	1.28	25.92	10.13
T6	6.62	2.59	46.50	1.68	16.24	11.46
T7	6.65	3.29	60.50	1.54	23.09	7.05
T8	6.50	2.35	60.50	1.12	31.33	9.69
T9	7.77	0.71	63.50	1.12	32.69	10.13

T0: testigo sustrato comercial, T1: 75% cachaza+25% bagazo, T2: 50% de cachaza+25% de cachaza+25% de estiércol de ganado, T3: 25% de cachaza+25% de bagazo+50% de estiércol de ganado, T4: 50% de cachaza+25% de cachaza+25% de cascarilla de cacao, T5: 25% de cachaza+25% de cachaza+50% de cascarilla de cacao, T6: vermicomposta 50% de cachaza+25% de cachaza+12.5% de estiércol de ganado+12.5% de cascarilla de cacao, T7: 25% de cachaza+25% de bagazo+25% de estiércol de ganado+25% de cascarilla de cacao, T8: 25% de cachaza+25% de bagazo+50% de biochar de encino, T9: 50% de cachaza+25% de bagazo+25% de biochar de encino, CE: conductividad eléctrica, MO: materia orgánica, NT: nitrógeno total, C/N: relación carbono-nitrógeno, CIC: capacidad de intercambio catiónico.

En la Figura 2.1 se muestra el porcentaje de supervivencia de las yemas, por tratamientos y variedad, en el cuál se observa que la variedad CP-722086 mostró el 100% de germinación, en la mayoría de los tratamientos, siendo los menores el T0 (testigo comercial) y el T7(25%Ca+25%B+25% EG+25% de CC), mientras que el comportamiento de germinación fue menor en la variedad Mex-69290, obteniendo valores de germinación 60 y 80% de germinación.

Los días de germinación para la variedad CP-722086 inició a los 14 días en los tratamientos T9, T3, T2, T4, T5, T6, T7, T8 y T9, para la Mex-69290 se presentó a los 19 días en el mismo orden que el caso anterior.



**Figura 2.1** Valores promedio de supervivencia, en yemas de caña de azúcar, por tratamiento en cada variedad.

A los 116 días se realizó la evaluación agronómica, en los tratamientos por variedad (Cuadro 2.4 y 2.5), el efecto del tiempo fue significativo y la tendencia no fue lineal. El tratamiento T8(25% de cachaza+25% de bagazo+50% de biochard de encino), presentó el mayor número de hojas en ambas variedades; sin embargo en la variedad CP-722086 (Cuadro 2.4) el tratamiento T9 presentó mayor altura (74.45 cm), y el de menor altura fue el testigo (T0), con una altura de (53.17cm), por lo que el análisis de varianza hace referencia que los tratamientos con respecto a la altura y número de hojas son estadísticamente diferente, así mismo, el tratamiento T9 de la variedad MEX-69290, alcanzó mayor altura (74.45cm) y el tratamiento T0 alcanzo la menor altura (50.67cm).La materia seca en g (MS), presentó los mayores valores, en la variedad CP-722086, el análisis de varianza indica que los tratamientos son estadísticamente iguales, el tratamiento T2(25.93 g) presentó la mayor MS, siendo el menor el testigo comercial con una MS de 14.09 g, para la variedad MEX-69290 se observaron valores de MS menores a los de la variedad CP-722086, presentándose el

mayor contenido de MS (19.72 g) en el T2 y el testigo comercial nuevamente presentó la menor MS con 12.74 g.

**Cuadro 2.4** Valores promedio de las características agronómicas determinadas en los tratamientos en la variedad CP-722086

Tratamiento	N° de hojas	Altura (cm)	Diámetro del tallo (cm)	Materia seca (g)
T0	6.00a	53.17 <sup>a</sup>	2.70ab	14.09a
T1	7.00abc	56.83ab	2.70ab	22.34bc
T2	7.00abc	61.33abc	3.01ab	25.93c
T3	8.33bc	66.67abc	3.13b	23.12bc
T4	7.00abc	61.76abc	2.66ab	21.34abc
T5	8.00abc	61.45abc	2.67ab	20.88abc
T6	7.67abc	67.37bc	2.66ab	20.74abc
T7	6.67ab	64.04abc	2.35a	18.62abc
T8	9.00c	73.33c	3.14b	21.54ab
T9	8.33bc	74.45c	3.12b	17.46ab
Media	7.50	64.04	2.81	20.61
Prob. de f	0.0047**	0.0004**	0.0132*	0.0052**
CV	10.61	7.39	9.17	13.80

**Cuadro 2.5** Valores promedio de las características agronómicas determinadas en los tratamientos en la variedad MEX.69-290

Tratamiento	N° de hojas	Altura (cm)	Diámetro del tallo(cm)	Materia seca (g)
T0	5.33a	50.67a	2.20ab	12.74a
T1	6.00ab	54.33ab	2.20ab	17.23ab
T2	6.00ab	58.83abc	2.51ab	19.72b
T3	7.33ab	64.17abc	2.63b	17.47ab
T4	6.33ab	59.26abc	2.16ab	16.75ab
T5	7.00ab	58.95abc	2.17ab	17.56ab
T6	6.67ab	64.87bc	2.16ab	17.67ab
T7	5.33a	61.54abc	1.85a	15.04ab
T8	7.67b	70.83c	2.64b	17.01ab
T9	7.33ab	71.95c	2.62b	14.29ab
Media	6.50	61.54	2.31	16.55
Prob. de F	0.0125*	0.0004**	0.0132*	0.0166*
CV	12.24	7.69	11.15	11.85
DMS	2.30	13.68	0.74	5.67

### 2.3.2 Análisis nutrimental de las plantas y suelos.

En el cuadro 2.6 se presentan los rangos críticos de los nutrimentos N, P y K en caña de azúcar, descrito por (Salgado *et al.*,2010), por lo que los tratamientos, en ambas variedades tuvieron valores altos en N, lo que puede ser consecuencia de la acidez de los sustratos orgánicos, derivada de los altos contenidos de MO utilizados (Bernier y Alfaro 2006).

**Cuadro 2.6** Rangos críticos de nutrimentos para el cultivo de caña de azúcar.

<b>Número: 15 Hojas</b>			
<b>Parte vegetativa: tercera hoja</b>			
<b>Tiempo: 3 a 5 meses de rebrote</b>			
<b>Elemento</b>	<b>Bajo</b>	<b>Medio</b>	<b>Alto</b>
<b>(%)</b>			
<b>N</b>	1.60-1.90	2.00-2.60	<2.60,
<b>P</b>	0.15-0.17	0.18-0.30	>0.30
<b>K</b>	0.90-0.19	1.10-1.80	>1.80

La variedad CP-722086 presentó un porcentaje de N (Cuadro 2.6) de 3.39-5.79% de N, mientras que para la variedad Mex-69290 (Cuadro 2.7), se encontraron rangos mayores de N, que oscilaron de 4.89-9.69%, lo que se considera un exceso de N, para el desarrollo de la planta. La abundancia de N alarga el periodo de crecimiento, provoca la utilización rápida de otros elementos, que si no se encuentran en cantidades asimilables, puede ocasionar deficiencias como la de cobre, magnesio, pero también pueden ser susceptible a enfermedades y a las condiciones climatológicas como sequías (Ginés y Navarro, 2003).

Los cuadros de 2.7 y 2.8, indican que los tratamientos son estadísticamente iguales, la media del contenido de N en las plantas para la variedad CP-722086 es de 16.56%, mientras que para la Mex-69290 es de 6.68%, lo que nos indica que los tratamientos en ambas variedades mostraron un excesos de contenidos de N, con respecto a los rangos señalados por la DRIS. (Salgado *et al.*, 2010), Durán (1999) hace referencia que

a menores contenidos de MO en los suelos en donde se desarrolla el cultivo, menores son los contenidos de N en cultivo de caña de azúcar.

Por otro lado, los niveles de P, encontrados en los tratamientos de la variedad CP-722086, son excesivos, se obtuvieron valores de 4.26 a 2.23%, siendo el de mayor contenido el T8, y para la variedad de Mex-69290, se observaron valores 2.23-4.23%, el tratamiento T0 (testigo comercial) presentó el mayor contenido de P (4.23%), así mismo en ambas variedades se observan rangos altos de K, para CP-722086 se encontraron rangos que oscilas 3.83-4.64% de K en los tratamientos, para Mex-69290 se observaron, niveles altos de N en los tratamientos, los cuáles obtuvieron valores de 4.14-4.70 %. Al final del experimento, se realizó el análisis químico de los sustratos, de los tratamientos usados en ambas variedades). Los sustratos orgánicos de los tratamientos de la variedad CP-722086, presentaron pH neutros a alcalinos (6-7.55), la CE 1.10-5.18 dSm<sup>-1</sup> considerándose ligeramente salinos, muy ricos en MO (49-80%). Mientras que los sustratos orgánicos de los tratamientos de la variedad Mex-69290, presentaron pH ácido (5.3-6.15), la CE presento valores de 1.20-5.12 dSm<sup>-1</sup> considerándose ligeramente salinos a suelos salinos, muy ricos en MO (17.33-40.33%).

**Cuadro 2.7** Contenidos nutrimentales en la biomasa seca de los tratamientos con diferente sustrato en la variedad CP-722086

Tratamiento	N	P	K
T0	5.01ab	5.12d	4.65a
T1	5.69b	3.98bcd	4.22a
T2	4.32ab	4.32cd	4.03a
T3	4.10ab	1.93abcd	4.34a
T4	3.39a	1.37abc	4.11a
T5	4.44ab	0.34a	4.74a
T6	4.32ab	0.68ab	4.35a
T7	3.98ab	1.82abcd	4.37a
T8	4.55ab	0.80ab	4.03a
T9	4.67ab	0.91ab	3.83a
Media	16.55	16.55	16.55
Prob. de F	0.0163*	0.0002**	0.3245NS
CV	13.54	54.63	10.33
DMS	1.74	3.36	1.27

**Cuadro 2.8** Contenidos nutrimentales en la biomasa seca de los tratamientos con diferente sustrato en la variedad MEX.69290

Tratamiento	N	P	K
T0	9.67d	2.23a	4.14a
T1	8.53bcd	2.66ab	4.23a
T2	8.87cd	3.03abc	4.21a
T3	6.48abcd	3.80bc	4.40a
T4	5.91abc	3.45abc	4.48a
T5	4.89a	3.64abc	4.63a
T6	5.23ab	4.26c	4.70a
T7	6.37abcd	3.71bc	4.55a
T8	5.35ab	4.29c	4.54a
T9	5.46ab	3.84bc	4.40a
Media	6.68	3.49	4.43
Prob. de F	0.0132*	0.0132*	0.0132*
CV	17.40	14.31	6.20

## 2.4 Conclusiones

- Todos los sustratos utilizados, tuvieron las condiciones físicas, químicas y biológicas que permitieron la germinación de la caña de azúcar.
- La variedad CP-722086, obtuvo los mejores porcentajes de germinación a los 14 días, así como el mayor número de hojas y la mayor altura, en el tratamiento T8.
- Los contenidos nutrimentales y propiedades químicas de los sustratos (orgánicos) en los tratamientos, fueron superiores a los del testigo.

## 2.5 Literatura citada.

- Abad M. 1989. Los sustratos en horticultura ornamental. Revista Agrícola Vergel 3:146-152.
- Burés S. 1997. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas, S.L. Madrid, España 49-154.
- Claassen V.P. and Carey J.L. 2004. Regeneration of nitrogen fertility in disturbed soils using composts. Compost Sci. y Util 12(2): 145-152.

- Díaz L. P., Medina L. F., Latife J., Digonzelli P. A. y Sosa S. B. 2004. Aclimatación de plantas micropropagadas de caña de azúcar utilizando el humus de lombriz. INTA,, 33 (2): 115-128
- Félix H J. A., Serrato F.R., Armenta B.A. D., Rodríguez Q.G., Martínez RR., Azpiroz R. H.S. y Olalde P.V. .2010. Propiedades Microbiológicas de Compostas Maduras producidas a partir de diferente materia orgánica. Rev. Ra Ximhai, Vol. 6, 105-113
- Ginés N.G y Navarro G. G. 2003. Química agrícola, el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. 2da Edición. Mundi.Prensa, Madrid España, 291p.
- Flynn J., Powell G., Perdomo R., Montes G., Quebedeaux K.and Comstock J.. 2005. Comparison of sugarcane disease incidence and yield of field-run, heat-treated, and tissue-culture based seed cane. J. Am. Soc. Sugar Cane Technologists 25: 88-100.
- Fonteno W., Harden C. and Brewster J. 2000. Procedures for determining physical properties of horticultural substrates using the NCSU porometer. Horticultural Substrate Laboratory. North Carolina State University 26 pp
- Hashemimajd K., Kalbasi M., Golchin A. and Shariatmadari H. 2004. Comparison of vermicompost and compost as potting media for growth of tomatoes. J. Plant Nutr. 27: 1107-1123.
- Hernández G.I., Salgado G.S., Palma-López D.J., Lagunes E.L. del C., Castelán E.M., Ruiz R.O. 2008 Vinaza y composta de cachaza como fuente de nutrientes en caña de azúcar en un Gleysol mólico de Chiapas, México. Interciencia 33: 855-860p
- Jiménez E., Pérez P.J., Martín e I D.. yGarcía. 1991. Estudio de poblaciones de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) obtenidas por micropropagación in vitro. Cent. Agríc. 18 (2): 74-78
- NMX-FF-109-SCFI-2008 humus de lombriz (lombricomposta) - especificaciones y métodos de prueba vermicompost (worm casting) - specifications and test methods. México



- Nieto-Garibay A., Murillo-Amador B., Troyo-Diéguez E., Larrinaga-Mayoral J.A. y García-Hernández J.L. 2002. El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (*Capsicum annuum* L.) en zonas áridas. *Interciencia* 27(8): 417-421
- Pérez Méndez M. A., Sánchez H. R., Palma-López D.J.,y Salgado G.S. 2011. Caracterización química del compostaje de residuos de caña de azúcar en el sureste de México *Interciencia* 36(1). 45-52
- Preece J.E., and Sutterg E.G. 1991. Acclimatization of micropropagated plants to greenhouse and field. In: Debergh, P.C.; Zimmerman, R.H. (Eds.). *Micropropagation: Technology and Application*. Kluwer Academic.Dordrecht, 71-93
- Rodríguez D.N, Cano R.P, Figueroa V.U, Palomo G.A, Favela C., Álvarez R.V.P, Márquez H. C, y Moreno R.A. 2008. Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato. *Rev. Fitotec. Méx.*31(3): 265-272
- Salgado-García S., Palma-López D. J., Nuñez-Escobar R., Lagunes-Espinoza. L. del C., Deberdardi De la V. H.y Mendoza Hernández R. H. 2010. Manejo de fertilizantes y abonos orgánicos. Campus Tabasco, Colegio de Postgraduados-Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción en el Trópico Húmedo de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México. 210 p
- Salgado G. S., Bucio A. L., Riestra D. D. y Lagunes-Espinoza L.del C. 2003. Caña de azúcar: hacia un manejo sustentable. Campus Tabasco, Colegio de Postgraduados–ISPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 384pp.
- Salgado G., S., Palma-López D.J., Lagunes E. L. del C., y Castelán, E.,M., 2006. Manual para muestreos de suelos, plantas y aguas e interpretación de Análisis. Campus Tabasco, Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco, ISPROTAB. H. Cárdenas, Tabasco, México. 99 p.
- Váldez B. A., Guerrero P. A., García López E. y Obrador O. J.J. 2009. Manual para el cultivo y producción de la caña de azúcar. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas Tabasco. México, 1-3 pp.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

### 1. Conclusiones.

- El vermicompostaje, es una alternativa sustentable, que aprovecha, reutiliza y transforma los residuos agroindustriales, en material orgánico (humus de lombriz), resultado de la transformación biooxidativa en el que participan las lombrices composteras.
- Los resultados sugieren que el tipo de materia prima utilizada para la elaboración del vermicompost determinará en mucho las características finales del material. Los datos mostraron una alta variabilidad en las propiedades entre los diversos vermicomposts evaluados, lo que sugiere la necesidad de su caracterización así como de una mayor investigación de las fuentes utilizadas para su producción.
- La temperatura es un factor determinante en la producción de lombriz, ya que al incrementarse disminuye la producción.
- La cantidad de humedad, pH y CE de esta investigación arrojaron resultados adecuados, siendo considerados dentro del rango de aceptación de la NMX-FF-109-SCFI-2008.
- Para garantizar el éxito de un cultivo, el sustrato debe poder mantenerse como un factor fijo, es decir, que sus propiedades físicas, químicas y biológicas sean siempre las mismas con el fin de poder establecer un manejo adecuado.

### 2. Recomendaciones

- Los residuos orgánicos agroindustriales, que sean utilizados para composteo o vermicompostaje, deben de ser tratados, para evitar problemas de toxicidad.
- Se sugiere que el lugar en donde se lleve a cabo el proceso de vermicompostaje sea en sitios abiertos, para que la aireación sea mayor y beneficie a las lombrices composteras, a mayor aireación menor producción de sustancias tóxicas y la alimentación no disminuye, que pueden repercutir en el producto final.