



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**  
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRICOLAS

**CAMPUS MONTECILLO**  
POSTGRADO DE EDAFOLOGIA

**UTILIZACION DE RESIDUOS DE PALMA DE  
SOMBRERO (*Brahea dulcis*) COMO SUSTRATO DE  
CULTIVO**

**FIDENCIO SUSTAITA RIVERA**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE**

**DOCTOR EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO**

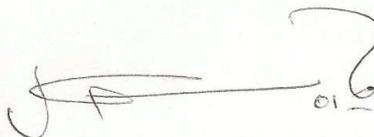
**2009**

La presente tesis, titulada: **utilización de residuos de palma de sombrero (*Brahea dulcis*) como sustrato de cultivo** realizada por el alumno: **Fidencio Sustaita Rivera**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS  
EDAFOLOGÍA**

**CONSEJO PARTICULAR**

CONSEJERO:



DR. VÍCTOR MANUEL ORDAZ CHAPARRO

ASESOR:



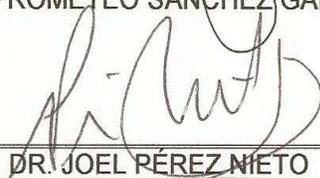
DR. ROBERTO QUINTERO LIZAOLA

ASESOR:



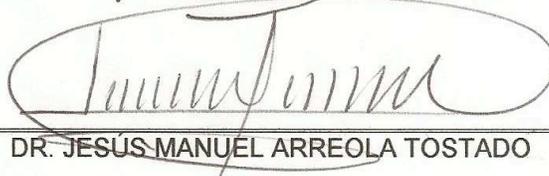
DR. PROMETEO SÁNCHEZ GARCÍA

ASESOR:



DR. JOEL PÉREZ NIETO

ASESOR:



DR. JESÚS MANUEL ARREOLA TOSTADO

Montecillo, Texcoco, México, Julio de 2009

## UTILIZACION DE RESIDUOS DE PALMA DE SOMBRERO (*Brahea dulcis*) COMO SUSTRATO DE CULTIVO

Fidencio Sustaita Rivera, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2009

La turba es el principal constituyente de sustratos para producir plantas en invernadero, debido a sus excelentes propiedades físicas, químicas y biológicas. Cada vez es más cara y menos disponible por motivos ecológicos, resultando la necesidad de aprovechar subproductos orgánicos como sustratos alternativos. Uno de ellos son residuos de palma de sombrero (*Brahea dulcis*), generados en la elaboración de artesanías de palma en Oaxaca, los cuales se envían a basureros o incineran. Se realizó su compostaje y vermicompostaje solos o mezclados con estiércol de cabra, cuantificando la dinámica microbiana de ambos procesos. A los composts y vermicomposts obtenidos se realizó su caracterización física, química y biológica. Además, se evaluaron como sustratos en el desarrollo de chile de agua. El compostaje y vermicompostaje de palma presentó las mayores poblaciones de hongos, bacterias y actinomicetos, respecto a la palma mezclada con estiércol caprino. En ambos procesos, la sucesión microbiana fue bacterias de 0 a 30 días, hongos de 60 a 90 días y actinomicetos a partir de 90 días. El vermicompostaje de palma tuvo estadísticamente la mayor población en todos los grupos microbianos. El compost y vermicompost de palma tuvieron las propiedades físicas, químicas y biológicas en los rangos recomendados para un sustrato ideal. El crecimiento y productividad de chile de agua en estos sustratos fue estadísticamente similar a la turba. Al emplear estiércol, sus propiedades no fueron adecuadas para emplearlos como sustrato, lo cual se reflejó en el menor crecimiento del chile de agua. El vermicompost de palma es un sustrato alternativo viable a la turba en la producción de cultivos, ya que el chile de agua fue superior a la turba en las variables de desarrollo y productividad evaluadas, mientras que fue estadísticamente similar en compost de palma.

Palabras clave: Dinámica microbiana, alternativas a la turba, caracterización de sustratos

## USE OF SOMBRERO PALM<sup>W</sup> WASTES (*Brahea dulcis*) AS GROWTH MEDIA

Fidencio Sustaita Rivera, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2009

Peat is the dominant constituent of greenhouse plant substrates due to their physical, chemical and biological properties. Peat is every time more expensive and restrictive owing to ecological constraints. Is necessary to make use of organic by products as alternative substrate components. The wastes produced in the sombrero palm (*Brahea dulcis*) handicrafts are buried or burned. The composting and vermicomposting of sombrero palm wastes alone or mixed with goat manure were performed. In both processes was quantified their microbial dynamic. The physical, chemical and biological characterization of composts and vermicomposts obtained was effectuated. Moreover, were evaluated as substrates in chile de agua growth. Composting and vermicomposting of palm alone have the greater population of fungi, bacteria and actinomycetes, in comparison with palm and goat manure mixture. The microbial succession in both processes was first bacteria to 30 days, then at 60 days in fungi, and actinomicetes at 90 and 120 days. The statistically bigger population of all microbial groups was in palm vermicomposting. The physical, chemical and biological properties of palm compost and vermicompost were in recommended values for an ideal substrate. In these substrates the chile de agua growth and yield was statistically similar to peat. The properties in palm with goat manure weren't suitable for use as substrate. This caused lesser , lo cual se reflejó en el menor crecimiento del chile de agua. El vermicompost de palma es un sustrato alternativo viable a la turba en la producción de cultivos, ya que el chile de agua fue superior a la turba en las variables de desarrollo y productividad evaluadas, mientras que fue estadísticamente similar en compost de palma.

Palabras clave: Dinámica microbiana, alternativas a la turba, caracterización de sustratos

Dedico esta tesis a:

A los integrantes de mi consejo particular por el tiempo, apoyo y dedicación que me brindaron, para alcanzar este escalón importante en mi formación académica. Les agradezco infinitamente la paciencia y comprensión que mostraron para conmigo y mis problemas.

Al Colegio de Postgraduados, Universidad Tecnológica de la Mixteca y Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), quienes fueron los actores principales en esta etapa de mi quehacer científico, mediante apoyos de distinta naturaleza.

A mis profesores, compañeros de trabajo, amigos y familiares quienes de manera constante y diversa, me han apoyado con sus consejos, aún en la distancia y especialmente mi padre que me contempla desde su lugar privilegiado.

A José Guadalupe e Higinia, mis padres

A Felisa, mi mujer

A Adrián y Paola, mis hijos

¿Es necesario decir por qué?

## CONTENIDO

	Página
<b>INTRODUCCIÓN GENERAL</b>	1
1.- Objetivos	4
2.- Hipótesis	5
3.- Revisión de literatura	6
4.- Literatura citada	28
<b>CAPÍTULO I. DINÁMICA MICROBIANA EN EL COMPOSTAJE Y VERMICOMPOSTAJE DE RESIDUOS DE PALMA DE SOMBRERO (<i>brahea dulcis mart.</i>)</b>	<b>33</b>
1.1. Resumen	33
1.2. Abstract	34
1.3. Introducción	35
1.4. Materiales y métodos	37
1.5. Resultados	39
1.6. Discusión	41
1.7. Bibliografía	48
<b>CAPITULO II. CARACTERIZACIÓN DE SUSTRATOS ELABORADOS CON COMPOST Y VERMICOMPOST DE RESIDUOS DE PALMA DE SOMBRERO</b>	<b>50</b>
2.1. Resumen	50
2.2. Abstract	51
2.3. Introducción	52
2.4. Materiales y métodos	54
2.5. Resultados	56
2.6. Discusión	59
2.7. Bibliografía	67
<b>CAPITULO III. COMPOST Y VERMICOMPOST DE RESIDUOS DE PALMA DE SOMBRERO COMO SUSTRATO EN CHILE DE AGUA</b>	<b>70</b>
3.1. Resumen	70
3.2. Abstract	71
3.3. Introducción	72
3.4. Materiales y métodos	74
3.5. Resultados	75
3.6. Discusión	78
3.7. Bibliografía	82
<b>CONCLUSIONES GENERALES</b>	<b>84</b>

## INTRODUCCIÓN GENERAL

La turba y corteza de pino han sido los constituyentes principales de las mezclas en medios de desarrollo para la producción de cultivos en invernadero (hasta 70% en volumen), debido a sus excelentes propiedades físicas, químicas y biológicas (Gruszynski and Kampf, 2004). Ambos productos son cada vez más caros debido a su costo de importación y menos disponibles a la industria viverística por motivos ecológicos, resultando la necesidad de fuentes alternativas como sustitutos de la turba (Wim, 1999).

Existe gran diversidad de residuos orgánicos que se utilizan como fuente de materia orgánica y que se emplean ampliamente como fuente de abono orgánico en forma fresca o después de efectuar un proceso de compostaje (Riviere and Caron, 2001). El compost obtenido de una gran diversidad de subproductos orgánicos relativamente baratos y fácilmente disponibles, se evalúan constantemente como sustratos para producir plantas de calidad. Entre los más comunes se encuentran: estiércoles, corteza de pino, cascarilla de arroz, lodos residuales o residuos de jardinería, entre otros, los cuales reducen el costo de las mezclas al preparar sustratos comparado con la turba (Reis *et al.*, 1998; Urrestarazu *et al.*, 2001; Hu and Barker, 2004).

Para que cualquier residuo orgánico tenga interés como sustituto parcial o total de la turba, tiene que disminuir el costo al productor, sin que esto vaya en detrimento de la producción obtenida. Por ello, la utilización de un recurso local abarataría dicho precio al disminuir el costo por transporte y contribuye a reciclar residuos orgánicos. Por ejemplo, en la región Mixteca de México, cerca de 70% de los habitantes de comunidades rurales se dedica a la elaboración de

productos artesanales, utilizando las hojas de “palma de sombrero” (*Brahea dulcis* Mart.). En esta actividad se generan grandes volúmenes de residuos orgánicos que se envían a rellenos sanitarios o se incineran. El compostaje es la alternativa para su disposición final y aprovecharlos, proporcionando un doble beneficio: el ambiental al eliminar los residuos orgánicos actualmente considerados basura y el utilizarlos en la formulación de sustratos de cultivo (Hernández *et al.*, 2005).

En la Universidad Tecnológica de la Mixteca se ha realizado el compostaje de residuos de palma de sombrero desde el 2002, para su utilización en sustratos de propagación de especies ornamentales, frutales y forestales, con el propósito de disminuir la utilización de “tierra de monte” o turba. El compost obtenido fue de calidad variable lo cual se manifestó en poco desarrollo y deficiencias nutrimentales, debido a la predominancia de cartón y palma de sombrero en las pilas de compostaje y al manejo inadecuado del proceso de compostaje.

En este trabajo se realizó el compostaje y vermicompostaje aeróbico de residuos de palma de sombrero, solos o mezclados con estiércol de cabra durante cuatro meses, en condiciones controladas de humedad y a temperatura ambiente. Los composts y vermicomposts obtenidos se secaron a la sombra y se tamizaron a 4 mm. La respuesta de las plantas depende de la calidad del compost empleado, por lo cual fue fundamental realizar su caracterización física, química y biológica. Con este propósito, durante el compostaje y vermicompostaje se tomaron muestras a 30, 60, 90 y 120 días para cuantificar las poblaciones microbianas dominantes en cada muestreo y en investigaciones posteriores identificar, aislar y propagar cepas de hongos, bacterias o

actinomicetos que aceleren la degradación de residuos de palma y mejoren la calidad del compost obtenido

Uno de los posibles materiales sustitutivos a la turba o tierra de monte para utilizarlo como sustrato en la producción de cultivos intensivos, son los residuos de palma de sombrero composteados, y de esta manera reducir el impacto ambiental que actualmente se ocasiona al llevarlos a basureros. Para determinar la aptitud de los composts y vermicomposts obtenidos como sustrato, se determinaron las propiedades físicas, químicas y biológicas, que más influyen en el desarrollo y productividad de las plantas en contenedor. Las propiedades físicas son esenciales para determinar su calidad como sustrato, por lo cual se obtuvo, entre otras propiedades, la curva de retención de humedad que determina la disponibilidad de aire y agua al sistema radicular; así como el pH y conductividad eléctrica que son importantes en la disponibilidad nutrimental y en el desarrollo de cualquier planta cultivada.

Como complemento al apoyo que actualmente existe para construir invernaderos como alternativa de desarrollo rural, se pretende generar información de utilidad para los productores de chile de agua (*Capsicum annum* L.) en invernadero en Oaxaca. Con este objetivo se evaluaron los composts y vermicomposts obtenidos, como una alternativa al uso de turba, en el desarrollo y producción de chile de agua, el cual es un cultivo altamente redituable debido a relación beneficio costo mayor a dos, que actualmente se siembra en superficies pequeñas con rendimiento promedio de seis toneladas por hectárea, el cual puede incrementarse al cultivarlo en invernaderos.

## **OBJETIVO GENERAL**

Estudiar sustratos orgánicos obtenidos del compostaje y vermicompostaje de residuos de palma de sombrero solos o mezclados con estiércol de cabra y evaluar su efecto en el desarrollo y producción de chile de agua (*Capsicum annum L.*).

## **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

Evaluar la cinética de poblaciones microbianas que participan en el compostaje y vermicompostaje de residuos de palma de sombrero solos o mezclados con estiércol caprino.

Caracterizar física y químicamente a sustratos orgánicos obtenidos del compostaje y vermicompostaje de residuos de palma de sombrero solos o mezclados con estiércol caprino.

Evaluar agrónomicamente al compost y vermicompost obtenidos de residuos de palma de sombrero solos o mezclados con estiércol caprino, como sustrato en el crecimiento y producción de chile de agua (*Capsicum annum L.*).

## **HIPÓTESIS**

La cinética de los grupos microbianos es semejante en el compostaje y en el vermicompostaje de residuos de palma de sombrero solos o mezclados con estiércol caprino.

La utilización de estiércol en el proceso de compostaje y vermicompostaje de palma de sombrero favorece sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

El desarrollo de chile de agua es superior en sustratos obtenidos del vermicompostaje de residuos de palma de sombrero solos o mezclados con estiércol caprino comparado con el compostaje o turba.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### **Residuos orgánicos**

Los estiércoles y otros residuos orgánicos se han utilizado para mejorar la fertilidad de los suelos dedicados a la agricultura y a la ganadería. Su aplicación al suelo mejora sus propiedades y el desarrollo del cultivo, sobre todo en aquellos con contenido bajo de materia orgánica (Loh *et al.*, 2005; OIRSA, 2002).

Se considera como residuos orgánicos a los productos derivados de las actividades agrícolas (residuos de cosecha), de la actividad pecuaria (estiércoles) y de los subproductos de origen vegetal, generados por las industrias de transformación de productos agrícolas o forestales. Cualquiera que sea su tipo requieren un tratamiento adecuado para su disposición final (García *et al.*, 2001).

El reciclado es la solución para el manejo de cualquier tipo de residuos orgánicos. El aprovechamiento de estos residuos puede realizarse en tres vertientes: reducir su volumen, aplicar tratamientos para degradarlos o utilizarlos directamente. Algunos residuos orgánicos se utilizan directamente, mientras que otros tienen que compostarse, como mejor alternativa para utilizarlos como componentes de sustratos para la producción de plantas en invernadero (Reis *et al.*, 1998).

El compostaje de residuos orgánicos tiene los siguientes propósitos:

1. La reducción de la masa y volumen de residuos orgánicos.

2. La obtención de abonos para mejorar características físicas, químicas y biológicas del suelo. Para restaurar suelos deteriorados.
3. Tiene otras posibilidades: Es posible obtener productos especiales de alto valor como sustratos para plantas.

El compost de residuos orgánicos incrementa el contenido de materia orgánica del suelo y tiene efectos benéficos en las propiedades físicas del suelo, tales como la porosidad total, conductividad hidráulica, contenido de agua disponible, densidad aparente, estabilidad de agregados y resistencia a erosión hídrica y eólica (Leroy *et al.*, 2008).

### **Compostaje**

El compost es la materia orgánica estabilizada resultante del proceso de descomposición biológica de residuos orgánicos. El compostaje y el vermicompostaje son los procesos más eficientes para la degradación de residuos orgánicos (Alidadi *et al.*, 2005). Actualmente ha cobrado importancia como alternativa de manejo de cualquier tipo de subproductos orgánicos, provenientes de la industria agroalimentaria, de la ganadería y de la actividad forestal. Mediante estos procesos se evita que gran diversidad de residuos se desechen en rellenos sanitarios o se incineren. Por otro lado, al aplicarlos como abono orgánico en forma fresca o después de un proceso de compostaje, se aprovechan la materia orgánica y los nutrimentos que contienen para la producción agrícola (Chukwujindu *et al.*, 2006; Durán y Henríquez, 2007; Hargreaves *et al.*, 2008).

El proceso de compostaje transforma los residuos orgánicos en un abono de alta calidad nutrimental para los cultivos, el cual es más estable y fácil de manejar, transportar y aplicar con respecto a los residuos sin compostear. Este puede aplicarse al suelo o utilizarse como componente de sustratos para cultivar diversas especies ornamentales en invernadero (OIRSA, 2002; Cuevas, 2004).

El proceso de compostaje es la degradación biológica de los residuos orgánicos que puede ser aeróbico o anaeróbico. El primero involucra la actividad de microorganismos que requieren oxígeno. Se caracteriza por altas temperaturas, ausencia de olores desagradables y degradación más rápida de la materia orgánica respecto al compostaje anaeróbico (Atiyeh *et al.*, 2000; Hameeda *et al.*, 2007).

Sanabria *et al.* (2007), mencionan que la composición la comunidad microbiana nativa, es la que regula la biodegradación durante el compostaje de residuos orgánicos. El compostaje aerobio se divide en varias etapas con una sucesión continua de poblaciones microbianas. Inicialmente las fuentes de carbono y energía fácilmente disponibles como carbohidratos solubles, almidón y proteínas, son consumidas por los microorganismos. El compostaje continúa en una fase más estable en que los carbohidratos menos fácilmente consumibles como celulosa y hemicelulosa son metabolizados. Durante la maduración, el compost se vuelve más estable ya que las únicas fuentes de carbono, en forma de lignina y sustancias húmicas, son altamente resistentes (Chukwujindu *et al.*, 2006; Hameeda *et al.*, 2007).

La fuente y composición química del residuo orgánico es el factor más importante que afecta las características del compost obtenido. Otros parámetros importantes a controlar durante el compostaje son: pre tratamiento, temperatura, aireación, humedad y duración. Durante el proceso, el carbono orgánico se pierde como CO<sub>2</sub> y el nitrógeno total se incrementa, dependiendo de sus contenidos en el residuo (Canet *et al.*, 2000; Loh *et al.*, 2005).

El calor producido durante el proceso de compostaje por la actividad microbiana destruye los organismos patógenos al ser expuestos a altas temperaturas (Alidadi *et al.*, 2005; Hargreaves *et al.*, 2008). Para incrementar la calidad del compost y reducir el tiempo de compostaje, es deseable identificar los microorganismos que dominan las etapas de la degradación. La evolución de las poblaciones microbianas durante el proceso completo del compostaje de cualquier residuo orgánico, debe estudiarse para determinar cómo las propiedades físicas y químicas afectan el metabolismo de la microflora activa y la degradación de los residuos orgánicos. En la descomposición de cualquier residuo orgánico hay una población heterogénea de microorganismos, que cambia con la temperatura, nutrientes y actividad específica en el proceso de degradación. La identificación de organismos específicos presentes durante las etapas del compostaje o vermicompostaje, permite determinar la temperatura óptima para su desarrollo, mientras que su aislamiento y cultivo genera cepas de microorganismos para inocular las pilas de compostaje y acelerar su degradación (Sanabria *et al.*, 2007).

## **Vermicompostaje**

El vermicompostaje es una tecnología de bajo costo para la biodegradación de residuos orgánicos, que explota la capacidad de algunas especies de lombrices de fragmentar los residuos orgánicos al alimentarse (Naddafi *et al.*, 2004; Alidadi *et al.*, 2005). El uso de lombrices permite transformar los desechos que generan contaminación en abonos orgánicos de igual o mejor calidad que el compostaje. Las especies de lombriz utilizadas comúnmente son *Eisenia foetida* (Savigny) y *E. andrei* (Bouche). Estas especies son prolíficas, tienen amplia tolerancia a cambios de temperatura y humedad, y se desarrollan adecuadamente en diversos residuos orgánicos (Atiyeh *et al.*, 2000). La lombriz actúa como promotor de la descomposición microbiana y de la tasa de mineralización de compuestos orgánicos (Parvaresh *et al.*, 2004; Roberts *et al.*, 2007).

El vermicompostaje es el proceso de bio-oxidación y estabilización de los residuos orgánicos a través del tracto digestivo de las lombrices, así como de la actividad de macrofauna y microorganismos (bacterias, hongos y actinomicetos) (Aira *et al.*, 2005; Durán y Henríquez, 2007). Estos últimos son responsables de la degradación bioquímica de la materia orgánica, mientras que las lombrices son responsables del proceso de fragmentación, que incrementa el área superficial para el ataque de microorganismos y mantiene aeróbico el sustrato (Naddafi *et al.*, 2004; Alidadi *et al.*, 2005).

Las lombrices se alimentan de una cantidad diaria de materia orgánica equivalente a su peso y utilizan solo una pequeña porción de ésta para su nutrición, por lo cual excreta la mayor parte de

la materia orgánica consumida en forma parcialmente digerida, con sustancias químicas que estimulan la actividad microbiana (Loh *et al.*, 2005).

Altas densidades de poblaciones de lombrices transforman más rápidamente la materia orgánica fresca en vermicompost. La tasa óptima de alimentación es de 0.75 kg de residuos por kilogramo de lombriz por día (Alidadi *et al.*, 2005). El abono producido se denomina vermicompost, lombricompost o humus de lombriz, el cual es más estable que los materiales originales. El vermicompost es similar a la turba, la cual tiene alta porosidad, que favorece la aireación, drenaje y capacidad de retención de humedad. Además tiene mayor capacidad de intercambio catiónico, mayor contenido de nutrimentos en forma fácilmente disponibles para las plantas, así como sustancias biológicamente activas como reguladores del crecimiento. Debido a lo anterior, el vermicompost influencia significativamente la germinación, el desarrollo y la productividad de las plantas, al aplicarlo al suelo o usarlo como sustrato para el cultivo de plantas (Atiyeh *et al.*, 2002; Emino y Warman, 2004; Roberts *et al.*, 2007).

Los mayores rendimientos y desarrollo de plantas ocurren cuando el vermicompost es hasta 40% del volumen total de la mezcla de cultivo en contenedor, ya que mayores proporciones no siempre mejoran el desarrollo de la planta (Atiyeh *et al.*, 2002). La aplicación de vermicompost al suelo favorece la formación de agregados del suelo y la capacidad de retención de humedad, lo cual mejora la fertilidad del suelo e incrementan el rendimiento de los cultivos (Edwards *et al.*, 2004; Aira *et al.*, 2006).

## **Caracterización del compost y vermicompost**

Para determinar la aptitud de un compost como componente de sustratos para invernadero, es fundamental realizar su caracterización antes de utilizarlo, debido a que una vez que se encuentra en el contenedor y la planta está creciendo en él, no es posible modificarlo. Adicionalmente, su caracterización permite valorar posibles riesgos y restricciones de uso que se tengan que considerar (Ansorena, 1994; Zapata *et al.*, 2005).

Cada compost o vermicompost tiene propiedades físicas y químicas únicas que cambian al combinarlo con otros componentes del sustrato. Dichas propiedades son responsables de proveer soporte adecuado e influyen en la retención de humedad y disponibilidad de nutrimentos para la planta (Dede *et al.*, 2006). Sin embargo, la respuesta de los cultivos no puede relacionarse directamente con algún parámetro físico o químico en particular (Roberts *et al.*, 2007).

## **Propiedades físicas**

Las propiedades físicas de los sustratos son de gran importancia para el desarrollo de la planta, pues determinarán la disponibilidad de oxígeno, la movilidad del agua y la facilidad para la penetración de la raíz. Estas propiedades son las responsables del éxito o fracaso de la utilización de un determinado material como sustrato de cultivo. Las más importantes son aquellas relacionadas con el binomio “retención de agua – aireación” (Pastor, 1999).

Las principales características físicas del material usado como sustrato son: alta capacidad de retención de humedad (20% a 30%), baja densidad aparente ( $<0.4 \text{ g/cm}^3$ ), alta porosidad ( $> 85\%$  v/v), textura fina y estructura estable (Pastor, 1999; Castillo *et al.*, 2004).

### **Curva de retención de humedad**

La caracterización hidrofísica de los sustratos se efectúa empleando la metodología descrita por De Boodt *et al.* (1974). Se determina la curva de retención de humedad, ya que la disponibilidad de agua y aire en un sustrato son dos características importantes para que las plantas se desarrollen adecuadamente. La curva de retención de agua relaciona el contenido volumétrico de agua, aire y material sólido del sustrato con el potencial matricial. Esta curva se obtiene sometiendo a una muestra del sustrato a distintas fuerzas de succión medidas en cm de columna de agua. Las medidas de tensión que se utilizan son 10, 50 y 100 cm y las propiedades físicas que se obtienen son los siguientes:

**Agua no aprovechable o no disponible por el cultivo (AND):** Es el porcentaje en volumen de agua que se libera al aplicar una tensión de 10 cm de columna de agua sobre el sustrato o visto de otra manera, es la proporción de aire que queda en el sustrato después de aplicar una tensión de 10 cm de columna de agua.

**Agua fácilmente disponible (AFD):** que corresponde al porcentaje en volumen de agua liberada del sustrato entre succiones de 10 y 50 cm de columna de agua. Este valor nos da una idea del agua útil para la planta.

**Agua de reserva (AR):** es el porcentaje en volumen de agua liberada del sustrato al aplicar succiones entre 50 y 100 cm de columna de agua. Es el agua menos disponible a la planta.

**Agua difícilmente disponible (ADD):** es el porcentaje en volumen de agua retenida por el sustrato a succiones superiores a 100 cm de columna de agua. Se considera como agua no utilizable por la planta.

**Espacio poroso total (EPT):** Es el volumen total de sustrato de cultivo que no está ocupado por partículas orgánicas o minerales. Se determina a partir de la humedad del sustrato a saturación y la densidad aparente (Pastor, 1999; Zapata *et al.*, 2005).

**Porosidad de aireación (Pai).** La porosidad de aireación es la parte del espacio poroso que queda vacío luego de que el agua fue drenada libremente del sustrato saturado. Corresponde a la proporción del volumen de aire que queda en el sustrato cuando está en un contenedor, después de drenarse libremente desde saturación. Los poros que se vacían o que quedan libres son relativamente grandes denominados macro poros.

**Porosidad de retención de humedad (Prh).** La porosidad de retención de humedad es la parte del espacio poroso que se mantiene llena de agua, después de que el sustrato fue drenado

libremente desde saturado. Los poros que contienen agua son relativamente pequeños denominados micro-poros. La porosidad de aireación y la porosidad de retención de humedad son complementarias y están en estrecha relación con el tamaño de partículas, conforme aumenta el tamaño de partículas la porosidad de retención de humedad disminuye y la porosidad de aireación aumenta.

### **Granulometría**

La granulometría es la propiedad que influye de manera importante tras el trasplante, ya que está relacionada directamente con la porosidad, con la relación aire-agua y con la cantidad de agua que el sustrato es capaz de almacenar. La porosidad aumenta a medida que lo hace el tamaño de partícula y es la fracción de partículas de tamaño inferior a 1 mm la que más contribuye a la reducción de la porosidad del sustrato y al aumento de su capacidad de retención de agua. El mejor sustrato se define como aquel material que presenta una distribución del tamaño de poros entre 30 y 300 micras, equivalente a distribución de partículas entre 0.25 y 2.5 mm, que retiene suficiente agua disponible y posee, además, un adecuado contenido de aire (Ansorena, 1994).

El estudio granulométrico permite conocer la distribución del tamaño de las partículas y de los poros. El tamaño de las partículas afecta el crecimiento de las plantas a través del tamaño de los poros, ya que determina el balance entre el contenido de agua y aire del sustrato a cualquier nivel de humedad. Los sustratos con textura gruesa, con tamaño de partícula mayor a 0.9 mm, con poros grandes (>100 micras), retienen cantidades reducidas de agua y están bien aireados. Los materiales finos, con partículas inferiores a 0.25 mm, tienen poros pequeños (<30 micras),

retienen gran cantidad de agua difícilmente disponible y están mal aireados (Ansorena, 1994; Baixauli y Aguilar, 2002).

### **Propiedades químicas y biológicas**

Las propiedades químicas requeridas como sustrato son: capacidad de intercambio catiónico >20 meq/100g, alto contenido nutrimental, baja salinidad (CE<3 dS/m), ligeramente ácido (pH 5.2-6.3) y alta capacidad buffer. Además, debe ser estable, fácil de desinfectar y económico (Pastor, 1999; Castillo *et al.*, 2004).

Al comparar las propiedades químicas de composts y vermicomposts, Subler (1998) concluyó que los vermicomposts tienen pH ligeramente menor y contenido de nutrientes ligeramente mayor que composts (principalmente nitrógeno). Sin embargo, existe un gran traslape en ambos procesos que dificultan diferenciarlos claramente.

### **pH y conductividad eléctrica**

La mayoría de composts no pueden usarse directamente como sustrato aunque sus propiedades físicas sean adecuadas, debido a que generalmente su pH y conductividad eléctrica, son mayores a los valores mencionados como óptimos por abad *et al.* (2001). Estos factores son limitantes ya que afectan desfavorablemente la disponibilidad nutrimental a las plantas y la absorción nutrimental por parte de las raíces (Moore, 2004; Carrión *et al.*, 2008). Parte de las sales se

arrastran fácilmente en el agua de drenaje cuando se proporcionan riegos, siendo posible corregir o prevenir una elevada salinidad mediante lixiviación controlada (Zapata *et al.*, 2005).

### **Madurez y estabilidad del compost**

La madurez y estabilidad del compost se reconocen como los métodos universalmente aplicables cuando se evalúa el compost usado en cultivos hortícolas redituables. Estos términos se usan indistintamente para describir el grado de descomposición y transformación de la materia orgánica del compost, a pesar de que describen propiedades diferentes del sustrato en compostaje (Gómez *et al.*, 2008). Cuando el compost se usa como sustrato es importante que sea estable y maduro para prevenir efectos negativos en el crecimiento de las plantas (Chukwujindu *et al.*, 2006; Perez *et al.*, 2006; Sung and Ritter, 2008).

### **Madurez del compost**

La madurez del compost es el criterio esencial para su utilización como componente de medios de crecimiento o para aplicarlo al suelo (Gómez *et al.*, 2008). Se refiere al grado de descomposición de las sustancias orgánicas producidas durante el compostaje. El compost maduro no tiene sustancias fitotóxicas que retrasen la germinación de semillas o afecten el desarrollo de las plantas, no continúa la descomposición microbiana al almacenarlo y está libre de patógenos y semillas de maleza (Clark and Cavigelli, 2005; Gómez *et al.*, 2008).

Se han utilizado diversas técnicas para determinar la madurez del compost como el pH, la conductividad eléctrica, el carbono orgánico disuelto, la relación C/N o la relación  $\text{NH}_4/\text{NO}_3$ . Debido a que la estabilización implica la formación de sustancias húmicas, también se han usado índices de humificación como criterio de estabilidad (Chukwujindu *et al.*, 2006; Gómez *et al.*, 2008).

La aplicación de compost inmaduro ocasiona competencia por nitrógeno entre la biomasa microbiana y las raíces de las plantas, además de causar fitotoxicidad por ácidos orgánicos de bajo peso molecular sintetizados durante el compostaje (ácido acético, benzoico, fórmico, propiónico y butírico). El nitrógeno utilizado por los microorganismos ocasiona que las plantas muestren síntomas de deficiencias de nitrógeno (Chukwujindu *et al.*, 2006).

La fitotoxicidad es la intoxicación de plantas por la absorción y acumulación en el tejido vegetal de sustancias orgánicas presentes en el medio de crecimiento, lo cual afecta negativamente la germinación, el crecimiento de la raíz y el desarrollo vegetal (Ferreira y Monteiro, 2005). Para que no exista fitotoxicidad los productos de descomposición del compost deben metabolizarse o inmovilizarse en la etapa final del compostaje (Eneji *et al.*, 2004; Zubillaga and Lavado, 2006).

La manera más directa de evaluar la fitotoxicidad es mediante bioensayo con semillas o con el crecimiento de plantas. Con el primero, se obtiene un índice de germinación (IG) que se considera como el más adecuado para estimar madurez del compost (Mathur *et al.*, 1993; Zapata *et al.*, 2005). El IG estima la toxicidad baja que afecta el crecimiento de la raíz y la toxicidad alta que afecta la germinación. Si el IG del compost es mayor a 80% indica ausencia de fitotoxinas y

si es menor a 50% indica fuerte toxicidad por compost inmaduro (Zucconi et al., 1981; Eneji *et al.*, 2004).

### **Estabilidad del compost**

La estabilidad es la propiedad de cualquier material orgánico de mantener sus propiedades físicas y químicas durante varios meses. Para determinar la aptitud de compost como sustrato se han utilizado parámetros como la capacidad de intercambio catiónico, el contenido de carbono orgánico soluble, el contenido de NH<sub>4</sub>-N y la tasa de respiración microbiana (Gómez *et al.*, 2008).

La intensidad de la respiración depende de la velocidad del metabolismo de la biomasa microbiana y por tanto es inversamente proporcional a la estabilidad del compost (Saviozzi *et al.*, 2004). Además, es simple (no requiere equipo complicado), es barato y fácil de realizar (Fontanive *et al.*, 2004; Hargreaves *et al.*, 2008). Se considera que la tasa de respiración (generación de CO<sub>2</sub>) es el método más directo y preciso para evaluar el grado al cual la materia orgánica fácilmente biodegradable se ha descompuesto durante el compostaje. Adicionalmente, es superior a otras técnicas en términos de reproducibilidad intra-laboratorio e inter-laboratorios y se puede repetir con resultados consistentes para la misma muestra con una precisión mayor a 1 mg CO<sub>2</sub>/g/día (Gómez *et al.*, 2008).

El compost inmaduro continúa descomponiéndose activamente ocasionando malos olores, pérdida de volumen evidente como compactación, disminución de la porosidad y contiene

compuestos tóxicos a las plantas. En investigaciones al suelo a largo plazo, se encontró que las aplicaciones continuas de 20 a 80 Mg/ha de compost incrementan la biomasa microbiana y la tasa de respiración basal (Mathur *et al.*, 1993).

### **Microbiología del compostaje y vermicompostaje**

Los procesos de compostaje y vermicompostaje de un mismo sustrato se diferencian en la temperatura óptima de cada proceso y en los tipos de comunidades microbianas predominantes caracterizados por microorganismos termofílicos en el compostaje y bacterias y hongos mesofílicos en el vermicompostaje (Subler, 1998). Aun cuando se ha publicado gran cantidad de literatura relacionada con el compostaje, se conoce poco sobre la sucesión de comunidades microbianas que se presentan durante su biodegradación. Los microorganismos presentes y su dinámica durante el compostaje y vermicompostaje es muy variable, dependiendo de los residuos orgánicos utilizados y las condiciones durante la biodegradación (Lina *et al.*, 2005).

El compostaje o vermicompostaje puede acortarse al aislar los microorganismos presentes en las fases del proceso. Con este fin se ha determinado la dinámica de los grandes grupos microbianos y de grupos microbianos con actividad específica en diversos residuos orgánicos. En general, las bacterias, hongos y actinomicetos disminuyen al final del proceso de biodegradación, mientras que los grupos con actividad específica son variables a lo largo del proceso, en función del sustrato en que se desarrollan (Rodríguez *et al.*, 2005). La actividad de las lombrices favorece la presencia de grupos microbianos del ciclo del nitrógeno e inhibe a los microorganismos del ciclo del carbono (Rodríguez *et al.*, 2005).

## **La turba como sustrato**

En la actualidad las técnicas de cultivo han tenido un desarrollo tecnológico con cambios notables como diseño de invernaderos, riego automatizado, cultivos hidropónicos o fertirriego, lo cual ha sustituido la producción de cultivos en el suelo e incrementado la demanda de residuos orgánicos como sustrato de cultivo. Los sustratos deben diseñarse para retener humedad y nutrimentos, como respuesta a la restricción creciente de acceso al agua (Riviere and Caron, 2001; OIRSA, 2002; Mupondi *et al.*, 2006).

El desarrollo de sustratos hortícolas se origina en el cultivo de plantas en contenedor (Pastor, 1999). El cultivo en sustrato presenta diferencias respecto al cultivo en suelo, ya que la interacción entre las características del contenedor (altura, diámetro, etc.) y el manejo del complejo planta-sustrato resulta decisiva en el crecimiento de la planta (Reis *et al.*, 2001; OIRSA, 2002). En la producción de plantas en contenedor el volumen de sustrato es limitado, lo cual requiere riegos frecuentes para que exista agua disponible al sistema radicular. Se prefieren sustratos con elevada porosidad, que permitan que las plantas absorban agua y nutrimentos, y tengan buena aireación (Castillo *et al.*, 2000; Riviere and Caron, 2001).

Un sustrato es cualquier material sólido distinto al suelo, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radicular aislado del suelo, desempeñando, por tanto, un papel de soporte para la planta pudiendo intervenir o no en el proceso de la nutrición vegetal (Pastor, 1999).

El sustrato comercial más utilizado en la horticultura en general y especialmente en el cultivo de plantas ornamentales es la turba. Para reducir el uso de turba en la horticultura comercial se ha venido extendiendo el uso de compost en la formulación de otros sustratos alternativos. El precio elevado en medios de crecimiento elaborados con turba, vermiculita, perlita, entre otros, ha generado el interés en todo el mundo, por investigar la aptitud como sustrato de residuos orgánicos de bajo valor que pueden utilizarse con éxito en lugar de la turba (Clark and Cavigelli, 2005; Zapata *et al.*, 2005).

La turba se ha utilizado como el principal componente de medios de crecimiento en invernaderos, debido a que tiene características como:

Alta porosidad

Capacidad de retención de humedad

Mantiene los nutrimentos aplicados en forma disponible

Libre de patógenos.

No compite con la planta por nutrimentos u oxígeno.

Aligera el suelo, reduciendo la resistencia a la penetración radicular y el crecimiento.

Es un sustrato relativamente libre de sales solubles, semillas de malezas, metales pesados tóxicos y materiales indeseables (vidrio, plástico, etc.).

Es bioestable por lo cual puede almacenarse indefinidamente sin molestias por olores o plagas y no tiene riesgo de fuego espontáneo.

Las desventajas de usar turba son: muy pobre en nutrimentos, presentan dificultad para rehumedecerse cuando está seca y tiene densidad aparente extremadamente baja que ocasiona

inestabilidad. Sin embargo, la principal desventaja es que la alta demanda del producto para el cultivo de ornamentales, está causando un impacto ambiental en los lugares de donde se extrae y el aumento en el costo es notable (Pastor, 1999, Zapata *et al.*, 2005).

### **Materiales orgánicos alternativos a la turba.**

Recientemente el uso de sustratos diferentes al suelo en la horticultura comercial es muy común para propagar y cultivar plantas. La turba y la fibra de coco se usan intensamente como componente principal en los sustratos comerciales, debido a sus excelentes propiedades físicas, químicas y biológicas. Por lo tanto, las características que debe tener cualquier sustrato alternativo son:

1. Proporcionar anclaje y soporte para la planta
2. Habilidad para mantener niveles óptimos de agua fácilmente disponible a la planta
3. Alta porosidad que permita el intercambio de gases entre las raíces y la atmósfera
4. Retener su estructura física (mínima descomposición del sustrato).
5. Retener y mantener nutrimentos en forma asimilable.
6. Baja salinidad
7. Relativamente estéril (libre de malezas y patógenos)
8. Bajo costo, disponibilidad y de fácil manejo (Hernández *et al.*, 2005; Mupondi *et al.*, 2006; Perez *et al.*, 2006; Mugnai *et al.*, 2007).

Los sustratos orgánicos que más se han utilizado como alternativos a la turba son los siguientes:

### **Corteza de pino**

La corteza de pino es uno de los residuos orgánicos más comúnmente utilizado como alternativa a la turba, particularmente para la producción de plantas ornamentales de alto valor y para propagación. Se emplea hasta 30% de la mezcla del medio de crecimiento y se debe agregar nitrógeno para contrarrestar la inmovilización microbiana, debido a que la corteza continua descomponiéndose. La comercialización de la corteza de pino es muy limitada, debido al riesgo de extender la plaga del escarabajo de la corteza (Zapata *et al.*, 2005).

### **Fibra de coco.**

Es un subproducto de la industria del coco que se ha utilizado al 100% en sustratos para la propagación de plantas en esquejes. Tiene porosidad total mayor a 93% que le confiere excelente capacidad de retención de agua y estar bien aireado. Tiene baja densidad aparente y excelentes características de flujo, por lo cual es muy adecuado para la siembra automática en macetas y charolas (Baixauli y Aguilar, 2002).

Varias investigaciones han mostrado que el polvo de coco tiene características físicas, químicas y biológicas adecuadas para ser usado como medio de cultivo, aunque generalmente es más caro que la turba debido a los costos de importación. (García *et al.*, 2001).

## **Compost de residuos orgánicos**

Los volúmenes de materiales de desecho composteados disponibles en los mercados hortícolas se continúa incrementando con los incentivos para reducir la saturación de rellenos sanitarios con residuos orgánicos. Anualmente en todo el mundo se generan numerosos materiales de desecho que se acumulan en ciertas áreas o se envían a rellenos municipales, los cuales pueden recuperarse y valorizarse usándolos como sustrato. El compostaje es el principal método de manejo de residuos orgánicos localmente disponibles, debido a su utilización posterior como abono orgánico en producciones hortícolas. Además, se previene el daño causado por la extracción de turba al ecosistema y se minimiza el impacto por acumulación o incineración (Mugnai *et al.*, 2007; Carrión *et al.*, 2008; Hargreaves *et al.*, 2008).

El compost de residuos verdes tiene la ventaja de ser relativamente barato, aunque los costos por su transporte son elevados. Se usa principalmente como mejorador del suelo, como acolchado orgánico o como componente de sustratos. Tiene densidad aparente y contenido nutrimental elevado que limita la proporción que puede utilizarse en el sustrato (10% a 30%). Generalmente se diluye con materiales de bajo contenido nutrimental tales como corteza de madera o fibra de coco, para disminuir el contenido de nutrientes y la densidad aparente final de la mezcla.

La evaluación de compost de diferentes fuentes en diversas plantas, ha mostrado que puede usarse como sustituto parcial y en ocasiones sustituto completo de la turba sin reducir la calidad de la planta (Dede *et al.*, 2006; Moldes *et al.*, 2006; Carrión *et al.*, 2008; Gómez *et al.*, 2008). Esto se debe principalmente a que algunos composts cuando se emplean al 100% como sustrato tienen propiedades físicas similares a la turba, de tal manera que tiene respuestas favorables en el

crecimiento vegetativo de gerbera, aguacate, frambuesa, jitomate, brócoli, papaya y especies forestales (Stofella *et al.*, 2004; Rodríguez *et al.*, 2005; Acevedo y Pire, 2004; Hernández *et al.*, 2005). Su utilización ofrece dos ventajas: materiales más baratos de obtener y la utilidad de subproductos de otros procesos productivos (Riviere y Carón, 2001; Pastor, 1999; Hernández *et al.*, 2005).

Algunos de los aspectos que limitan el empleo de compost como componente de medios de cultivo, son su pH y conductividad eléctrica mayores a los rangos recomendados para un sustrato ideal por Abad *et al.* (1981). El exceso de sales afecta el crecimiento vegetal mediante inhibición osmótica de la absorción de agua por la raíz. En la mayoría de cultivos, las etapas más sensibles son la germinación y primeras etapas de desarrollo (Carrión *et al.*, 2008, Dede, 2006).

En México, la mayor parte de los sustratos se elaboran principalmente con tierra de monte o turba, aunque recientemente se han evaluado una diversidad de subproductos y residuos de las actividades agrícolas, industriales y urbanas (cascarilla de arroz, papel, paja de cereales, fibra de coco, pulpa de café, corteza de árboles, aserrín, bagazo de caña de azúcar o de maguey tequilero, hojas de plátano, restos de frutas, restos de cacao, poda de árboles, residuos de mercado, lodos de tratamiento de aguas residuales, entre otros). La mayoría de estos residuos orgánicos deben compostarse para su adecuación como sustratos (García *et al.*, 2001; Cuevas, 2004; Hernández *et al.*, 2005).

### **Compost de residuos sólidos municipales o lodos residuales**

En muchas partes del mundo, los residuos sólidos urbanos (RSU) son incinerados o llevados a rellenos sanitarios. Para reciclarlos, la alternativa es la separación de fuente en fracciones orgánicas e inorgánicas seguido por su compostaje, para obtener compost a bajo costo a partir de este tipo de desechos (Bruun *et al.*, 2006; Hargreaves *et al.*, 2008).

El uso de compost a partir de RSU en la agricultura tiene varios efectos benéficos, ya que incrementa la fertilidad del suelo al agregar nutrimentos, incrementa la protección de la planta contra patógenos y aumenta el contenido de materia orgánica. La materia orgánica en el suelo mejora la estructura, aumenta la capacidad de retención de humedad y la infiltración y reduce su erosión (Bruun *et al.*, 2006). Por otro lado, la aplicación de compost de RSU también se asocia con impactos ambientales negativos, como alta concentración de metales pesados y sales solubles, que pueden inhibir el desarrollo vegetal y afectar la estructura del suelo (Perez *et al.*, 2006; Hargreaves *et al.*, 2008).

Moldes *et al.* (2006) indican que para emplear compost de RSU como medio de cultivo es necesario ampliar el tiempo de madurez en el compostaje y mezclarlo con turba al preparar sustratos. El desarrollo de plantas es igual o superior que en sustratos comerciales cuando se utiliza hasta 50% de compost de residuos sólidos urbanos en la preparación de sustratos. Si se incrementa la proporción de RSU, hay disminución del crecimiento debido al incremento en el contenido de sales solubles y a disminución de la aireación (Hernández *et al.*, 2005).

## LITERATURA CITADA

Abad, MN., P. Noguera and S. Burés. 2001. National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain. *Bioresource Technology* 77: 197 – 200.

Acevedo C. I. y R. Pire. 2004. Efectos del lombricompost como enmienda de un sustrato para el crecimiento del lechoso (*Carica papaya*). *Interciencia* 29 (5): 274 – 279.

Aira, M, F. Monroy and J. Domínguez. 2006. Changes in microbial biomass and microbial activity of pig slurry after the transit through the gut of the earthworm *Eudrilus eugeniae*. *Biol Fertil Soils* 42: 371–376.

Alidadi, H., A.R. Parvaresh, M.R. Shahmansouri and H. Pourmoghadas. 2005. Combined compost and vermicomposting process in the treatment and bioconversion of sludge. *Iran. J. Environ. Health Sci. Eng.* 2(4): 251-254.

Ansorena M., J. 1994. Sustratos. Propiedades y caracterización. Mundiprensa. Madrid, España. 171p.

Atiyeh, R.M., J. Domínguez, S. Subler and C.A. Edwards. 2000. Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (*Eisenia andrei*, Bouché) and the effects on seedling growth. *Pedobiologia* 44: 709–724.

Atiyeh, R.M., C.A. Edwards, S. Subler and J.D. Metzger. 2001. Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth. *Bioresource Technology* 78: 11 – 20.

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

Carlos Baixauli S., Carlos y Aguilar O., J.M. 2002. Cultivo sin suelo de hortalizas. Aspectos prácticos y experiencias. Generalitat Valenciana. Conselleria de Agricultura, Pesca y Alimentación. Valencia, España. 110 p.

Bruun, S., T. L. Hansen, T.H. Christensen, J. Magid and L.S. Jensen. 2006. Application of processed organic municipal solid waste on agricultural land - a scenario analysis. *Environmental Modeling and Assessment* 11: 251-265.

Canet, R., F. Pomares, R. Albiach, F. Tarazona, M.A. Ibañez and F. Ingelmo. 2000. Analyzing chemical properties of MSW composts. *BioCycle* 41 (12): 72-75.

Carrión, C., R. G. de la Fuente, F. Fornes, R. Purchades and M. Abad. 2008. Acidifying composts from vegetable crop wastes to prepare growing media for containerized crops. *Compost Science & Utilization* 16 (1): 20 - 29.

Castillo E., Alicia; Silvio H Q. y María C. I. 2000. Caracterización química y física de compost de lombrices elaborados a partir de residuos orgánicos puros y combinados. *Agricultura Técnica* 60 (1): 74-79.

Castillo, J. E., F. Herrera, R. J. L. Bellido; F. J. L. Bellido and E.J. Fernández. 2004. Municipal Solid Waste (MSW) Compost as a Tomato Transplant Medium. *Compost Science & Utilization* 12(1): 86-92.

Chukwujindu, M.A.I., A.C. Egun, F.N. Emuh and N.O. Isirimah. 2006. Compost maturity evaluation and its significance to agriculture. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 9 (15):2933-2944.

Clark, S. and M. Cavigelli. 2005. Suitability of Composts as Potting Media for Production of Organic Vegetable transplants. *Compost Science & Utilization* 13(2): 150-156.

Cuevas G., R. 2004. Producción de abono orgánico con lombrices. Impacto de su incorporación en el suelo y cultivo de maíz. *Revista Conexión Sur* 6: 4 - 8.

De Boodt M., M. Verdonck, and O. Cappaert. 1974. Method for measuring the waterrelease curve of organic substrates. *Acta Hort.* 37: 2054 – 2062.

Dede, O.H., G. Koseoglu, S. Ozdemir and A. Celebi. 2006. Effects of Organic Waste Substrates on the Growth of Impatiens. *Turk. J. Agric. For.* 30:375-381

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

Edwards, C.A., J. Dominguez and N. Arancon. The influence of vermicompost on plant growth and pest incidence. In: *Soil Zoology for Sustainable Development in the 21<sup>st</sup> Century*. S.H. Shakir and W.Z. Mikhail (eds). Cairo, Egypt.

Emino, E.R. and P.R. Warman. 2004. Biological assay for compost quality. *Compost Science & Utilization* 12 (4): 342-348.

Eneji, A.E., T. Honna, S. Yamamoto and T. Masuda. 2003. Influence of Composting Conditions on Plant Nutrient Concentrations in Manure Compost. *Journal of plant Nutrition* 26(8): 1595–1604.

Ferreira, A.A. and T. R. Monteiro. 2005. Plant Bioassays to assess toxicity of textile sludge compost. *Sci. Agric.* 62(3): 286 – 290.

Fontanive, V., D. Effron, F. Tortarolo and N. Arrigo. 2004. Evaluation of Parameters During Composting of Two Contrasting Raw Materials. *Compost Science & Utilization* 12(3): 268-272.

- García C., O.; Alcántar G., G; Cabrera, R.I.; Gavi R., F. y Volke H., V. 2001. Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. *Terra* 19 (3): 249-258.
- Gómez, B.M., C. Lazcano and J. Dominguez. 2008. The evaluation of stability and maturity during the composting of cattle manure. *Chemosphere* 70(3): 436-444.
- Gruszynski, C. and N. Kampf. 2004. Residues of *Aleurites fordii* (Euphorbiaceae) as a component of plant substrates. *Acta Hort.* 644: 171 – 175.
- Hameeda, B., G. Harini, O.P. Rupela and G. Reddy. 2007. Effect of composts or vermicomposts on sorghum growth and mycorrhizal colonization. *African Journal of Biotechnology* 6 (1): 9 – 12.
- Hargreaves, J.C., M.S. Adl and P.R. Warman. 2008. A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 123: 1 – 14.
- Hernández A.L, A.M. Gascó, J.M. Gascó and F. Guerrero. 2005. Reuse of waste materials as growing media for ornamental plants. *Bioresource Technology* 96:125–131.
- Hu, Y and A. Barker. 2004. Evaluation of composts and their combinations with other materials on tomato growth. *Communications in Soil Science and Plant analysis* 35: 2789 – 2807.
- Leroy, B.L.M., H.M.S. Herath, S. Neve, D. Gabriels, L. Bommele, D. Reheul and M. Moens. 2008. Effect of vegetable, fruit and garden (VFG) waste compost on soil physical properties. *Compost Science & Utilization* 16 (1): 43-51.
- Lina, B., L. Céu, L. Bartolomeu, A. Anselmo and M. Fernanda. 2005 Bio-degradation of olive oil husks in composting aerated piles. *Bioresource Technology* 96: 69–78.
- Loh, T.C., Y.C. Lee, J.B. Liang and D. Tan. 2005. Vermicomposting of cattle and goat manures by *Eisenia foetida* and their growth and reproduction performance. *Bioresource Technology* 96: 111–114.
- Mathur S., P.; G. Owen; H. Diné and M. Schnitzer. 1993. Determination of compost Biomaturity I. Literature review. *Biological Agriculture and Horticulture* 10: 65 – 85.
- Moldes, A., Y. Cendón, E. López and M.T. Barral. 2006. Biological quality of potting media based on MSW composts: a comparative study. *Compost Science & Utilization* 14 (4): 296-302.
- Moore, K.K. 2004. Using Seaweed Compost To Grow Bedding Plants. *BioCycle* 45(6): 43-44.
- Mugnai, S., T. Pasquini, E. Azzarello, C. Pandolfi and S. Mancuso. 2007. Evaluation of Composted Green Waste In Ornamental Container-Grown Plants: Effects on growth and plant water relations. *Compost Science & Utilization* 15(4):283-287.

- Mupondi, L.T., P.N.S. Mnkeni and M.O. Brutsch. 2006. Evaluation of Pine Bark or Pine Bark with Goat Manure sewage Sludge Cocomposts as growing media for vegetable seedlings. *Compost Science & Utilization* 14(4):238-243.
- Naddafi, K., M. Zamanzadeh, A.A. Azimi, G.A. Omrani, A.R. Mesdaghinia and E. Mobedi. 2004. Effect of temperature, dry solids and C/N ratio on vermicomposting of waste activated sludge. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 7 (7):1217-1220.
- OIRSA (Organismo Internacional de Sanidad Agropecuaria). 2002. Manual de producción de sustratos para vivero. Costa Rica. 43 p.
- Parvaresh, A., H. Movahedian and L. Hamidian. 2004. Vermistabilization of Municipal Wastewater Sludge with *Eisenia fetida*. *Iranian J. Env. Health Sci. Eng* 1(2): 43-50.
- Pastor S., J.N. 1999. Utilización de sustratos en viveros. *Terra* 17 (3): 231-235.
- Perez, M.M.D., R. Moral, J. M. Caselles, A. P. and C. Paredes. 2006. Use of composted sewage sludge in growth media for broccoli. *Bioresource Technology* 97: 123–130.
- Reis, M., F. Martínez, M. Soliva and A. Monteiro. Composted organic residues as a substrate component for tomato transplant production. 1998. *Acta Hort.* 469: 263 – 273.
- Reis, H. I., A. Rosa, J. Caco, and A. Monteiro. 2001. Grape marc compost as an alternative growing media for greenhouse tomato. *Acta Hort.* 554: 75 – 81.
- Riviere, L.M. and J. Caron. 2001. Research on substrates: state of the art and need for the coming 10 years. *Acta Hort.* 548: 29 – 36.
- Roberts, P., C.A. Edwards, G.E. Jones and D.L. Jones. 2007. Responses of Common Pot Grown Flower Species To Commercial Plant Growth Media substituted with vermicomposts. *Compost Science & Utilization* 15(3): 159-166.
- Rodríguez M., R.; R. Quintero L.; G. Alcántar G.; V. Ordaz Ch; y V. Volke H. 2005. Dinámica y cuantificación de grupos microbianos en compost y vermicompost de bagazo de agave tequilero. *TERRA Latinoamericana* 23 (1): 97 – 104.
- Sanabria, L.R., L.C. Arroyo, A.A. Rodríguez and M. Alameda. 2007. Chemical and biological characterization of slaughterhouse wastes compost. *Waste Management* 27: 1800–1807
- Saviozzi, A., R. Cardelli, R. L. Minzi and R. Riffaldi. 2004. Evolution of Biochemical Parameters During Composting of Urban Wastes. *Compost Science & Utilization* 12(2): 153-160.
- Stofella, P.J., S.B. Wilson and L.K. Mecca. 2004. Evaluation of compost as a viable medium amendment for containerized production. *Acta Hort.* 659: 697-703.

Subler, S., C. Edwards and J. Metzger. 1998. Comparing vermicomposts and composts. *BioCycle* 39 (7): 63- 65.

Sung, M. and W.F. Ritter. 2008. Food Waste Composting with Selected Paper Products. *Compost Science & Utilization* 16 (1): 36-42.

Urrestarazu, M., M. Salas, J. Moreno and G. Carrasco. 2001. Evaluation of different composts from horticultural crop residues and their uses in greenhouse soilless cropping. *Acta Hort.* 549: 147 – 152.

Wim, V. S. 1999. Standardization of substrates. *Acta Hort.* 481: 71 – 77.

Zapata, N., Guerrero, F. y Polo, A. 2005. Evaluación de Corteza de Pino y Residuos Urbanos como Componentes de Sustratos de Cultivo. *Agricultura Técnica* 65 (4): 387-400.

Zubillaga, M. S. and R.S. Lavado. 2006. Phytotoxicity of Biosolids Compost at Different Degrees of Maturity Compared to biosolids and animal manures. *Compost Science & Utilization* 14(4): 267-270.

Zucconi, F., A. Pera, M. Forte and M. de Bertoldi. 1981. Evaluating toxicity of immature compost. *BioCycle* 22(2): 54 - 57.

**CAPITULO I. DINAMICA MICROBIANA EN EL COMPOSTAJE Y  
VERMICOMPOSTAJE DE RESIDUOS DE “PALMA DE SOMBRERO” (*Brahea dulcis*  
Mart).**

**MICROBIAL DYNAMICS DURING COMPOSTING AND VERMICOMPOSTING OF  
“SOMBRERO PALM” WASTES (*Brahea dulcis* Mart)**

F Sustaita-Rivera(✉), VM Ordaz-Chaparro, R Quintero-Lizaola, P Sánchez-García, J Pérez-Nieto, JM Arreola-Tostado,  
(FSR) Instituto de Hidrología, Universidad Tecnológica de la Mixteca  
Km. 2.5 carr. a Acatlima, Huajuapán de León, Oaxaca. 69000. sustaita@mixteco.utm.mx  
(VMOCH) Instituto de Recursos Naturales, Colegio de postgraduados. ordaz@colpos.mx  
(RQL) Instituto de Recursos Naturales, Colegio de postgraduados. quintero@colpos.mx  
(PSG) Instituto de Recursos Naturales, Colegio de postgraduados. promet@colpos.mx  
(JPN) Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. jpereznl4@hotmail.com  
(JMAT) Dirección de vinculación y coordinación. INIFAP-Guanajuato.  
arreola.jesus@inifap.gob.mx

**RESUMEN**

En la región de la Mixteca, la elaboración de sombreros de palma es una actividad artesanal que ocupa a gran parte de la población y genera grandes volúmenes de residuos, cuyo destino es el basurero o su incineración. El presente trabajo tuvo como objetivo aprovecharlos mediante el compostaje y vermicompostaje. Durante estos procesos se tomaron muestras a 30, 60, 90 y 120 días para evaluar las unidades formadoras de colonias a bacterias, hongos, actinomicetos, celulolíticos, ligninolíticos y lipolíticos y por la técnica del número más probable los microorganismos amilolíticos. La disminución de volumen, después de 120 días, fue de 52% en el vermicompostaje y de 36.8% en el compostaje. Hubo diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en las poblaciones microbianas entre muestreos y tratamientos. Sin embargo, no existieron diferencias significativas entre el compostaje y vermicompostaje. Se presentó la sucesión microbiana con diferencias significativas en bacterias a 30 días, hongos a 60 días y actinomicetos de 90 a 120 días. Los tratamientos sin estiércol caprino presentaron la mayor cantidad de hongos, bacterias y

actinomicetos durante los 120 días del compostaje y vermicompostaje. En dichos procesos, la sucesión de los grupos microbianos con actividad específica en el ciclo del carbono fue de amilolíticos, luego lipolíticos y celulolíticos y finalmente ligninolíticos. Los microorganismos amilolíticos tuvieron la mayor población en PL y PE a los 60 días, mientras que los lipolíticos y celulolíticos mostraron diferencia significativa en todos los tratamientos a 90 días del compostaje y del vermicompostaje y fue mayor en los tratamientos sin estiércol. Los microorganismos ligninolíticos tuvieron la mayor población a 90 y 120 días para los tratamientos sin estiércol. El tratamiento PL fue significativamente diferente ( $p < 0.05$ ) en todos los grupos microbianos. En los procesos de compostaje y vermicompostaje de palma de sombrero ocurrió la sucesión de poblaciones microbianas que determinaron la calidad del compost obtenido.

**Palabras clave:** Sucesión microbiana, degradación de materia orgánica, grupos microbianos

## **ABSTRACT**

Important volumes of wastes are produced in the sombrero palm industry in the Mixteca region. They are transported to landfills or are burned. The composting and vermicomposting was performed to obtain organic manure. Samples were acquired at 30, 60, 90, and 120 days. Colony forming units (CFU) of bacteria, fungi, actinomycetes, cellulolytic, ligninolytic, and lipolytic microorganisms were quantified. Amilolytic microorganisms were quantified for most probable number method. After 120 days there was a decrease in volume of 52% in vermicomposting and 36.8% in composting process. There were significance differences in microbial populations from both samples and treatments. There wasn't significant differences between both processes. The

microbial succession take place with significant differences at 30 days in bacteria, at 60 days in fungi, and both 90 and 120 days in actinomycetes. The bigger population of bacterial, fungi and actinomycetes along 120 days of composting and vermicomposting developed in treatments without manure. The microbial succession of microbial functional groups in the carbon cycle was amilolytics, next lipolytic and celulolytics, and at last ligninolytics. Amilolityc microorganisms have the most quantity at 60 days in PL and PE, whereas lipolytic and cellulolytic microorganisms exhibited significant difference at 90 days in all treatments during composting and vermicomposting. These populations were bigger in treatments without manure. Ligninolytic microorganisms exhibited more activity at 90 and 120 days in treatments without manure. PL was significantly different in all microbial groups. Composting and vermicomposting of sombrero palm presented microbial populations succession which defined the quality of compost produced.

**Key Words:** Microbial sucesion, organic matter degradation, microbial groups

## INTRODUCCIÓN

En la región Mixteca (Puebla, Guerrero y Oaxaca) aproximadamente el 70% de los campesinos de comunidades rurales se dedica a tejer sombreros de palma y otras artesanías, actividad que se basa en la explotación de la “palma de sombrero” (*Brahea dulcis* Mart.). Los productos de palma son comprados y se les da el acabado por acaparadores de la zona (GEA, 2003).

En la elaboración de productos de palma se generan volúmenes de residuos estimados en 1 540 ton, que al no contar con un proceso para su utilización, su destino es el basurero o se incineran. Para reducir el impacto ambiental que ocasiona la disposición de dichos residuos, el aprovechamiento de estos mediante el compostaje es una alternativa viable ya que estabiliza biológicamente el residuo y lo transforma en sustrato orgánico con posibilidades de ser empleado para la producción de plantas en vivero.

El compostaje es una serie de procesos microbiológicos en el cual se involucran diversos microorganismos (Beffa *et al.*, 1995). El proceso de compostaje se ha restringido a enumerar e identificar las poblaciones microbianas dominantes durante las diversas etapas del compostaje. Para entender el proceso, es necesario evaluar los cambios de poblaciones microbianas de bacterias, actinomicetos y hongos. Sin embargo, la determinación de las poblaciones de microorganismos en cualquier material orgánico no refleja el proceso total de descomposición, sino que es la sucesión de dichos microorganismos en condiciones específicas de humedad, temperatura y tipo de material y su efecto acumulativo, lo que determina la tasa final de descomposición e influye en la calidad del compost obtenido (Tiquia *et al.*, 2002).

El objetivo del estudio fue identificar la dinámica de los grandes grupos microbianos (bacterias, hongos y actinomicetos), así como los grupos microbianos con actividad fisiológica específica en el ciclo del carbono (amilolíticos, ligninolíticos, lipolíticos y celulolíticos), durante el compostaje y vermicompostaje de residuos de palma para sombrero solos y mezclados con estiércol caprino.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En instalaciones del laboratorio de Microbiología de Suelos del Programa de Postgrado en Edafología del Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, se realizó el compostaje y vermicompostaje de residuos de palma de sombrero sobrantes en la elaboración de artesanías en un taller de Santiago Cacaloxtepec, Oaxaca. Dichos residuos se desmenuzaron previamente con una trituradora industrial para disminuir su tamaño. Las unidades experimentales fueron recipientes de plástico de 20 cm de ancho x 30 cm de largo x 13 cm de altura. Para mejorar la relación carbono:nitrógeno otro tratamiento consideró la mezcla de residuos de palma con estiércol de cabra en proporción 2:1 v/v. Para el vermicompostaje se consideró otro grupo de recipientes en los cuales los residuos de palma sola o palma mezclada con estiércol se precompostearon por 30 días. Posteriormente se inocularon con 200 lombrices composteras adultas de la especie *Eisenia foetida*, que se produjeron previamente en residuos de jardinería mezclados con estiércol vacuno. El diseño experimental fue completamente al azar con seis repeticiones. Los tratamientos se resumen en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Descripción de tratamientos.

Tratamiento	Descripción
P	Palma.
PE	Palma mezclada con estiércol caprino
PL	Palma inoculada con 200 lombrices adultas
PEL	Palma mezclada con estiércol caprino e inoculado con 200 lombrices adultas.

El compostaje y vermicompostaje se realizó en condiciones controladas de humedad y a temperatura promedio de 26 °C, durante los cuales se realizaron cuatro muestreos (30, 60, 90 y 120 días). Se colectaron 18 submuestras para formar una muestra compuesta por tratamiento de manera aséptica con una espátula acanalada.

La caracterización microbiológica se realizó en el laboratorio de bacteriología del Instituto de Hidrología de la Universidad Tecnológica de la Mixteca. Se prepararon los medios de cultivo selectivos para cada grupo microbiano (Cuadro 2), los cuales se esterilizaron a 18 libras de presión durante 15 minutos en una autoclave marca Acme, modelo vertical de 40 litros de capacidad (Wollum, 1982). El vaciado de medios de cultivo se realizó en una cámara de flujo laminar LABCONCO de segunda generación (128 cm de largo y 85.7 cm de ancho), se elaboraron diluciones decimales seriadas utilizando 90 mL de agua destilada estéril y 10 g de muestra. Se dispersó una alícuota de 0.1 mL en cajas Petri o tubos de ensaye por quintuplicado, para posteriormente incubarlos en una estufa marca Fisher a temperatura constante de 29 °C.

En función de los tiempos de incubación para cada grupo microbiano (Cuadro 2), se evaluaron las unidades formadoras de colonias (UFC) de bacterias, hongos, actinomicetos, celulolíticos, ligninolíticos y lipolíticos mediante la técnica de conteo en placa de agar. Los microorganismos amilolíticos, se cuantificaron por la técnica del número más probable (NMP), empleando la tabla de números más probables de Cochran para cinco tubos de dilución (Alexander, 1982).

Cuadro 2. Métodos de referencia para cuantificar grupos microbianos.

Grupo microbiano	Medio de cultivo	Incubación (días)	Método de identificación	de Referencia
<b>Grandes grupos microbianos</b>				
Bacterias	Agar nutritivo	3	Morfología típica	Wollum (1982)
Actinomicetos	Czapeck	7 a 10	Morfología típica	Wollum (1982)
Hongos	Martín	3	Morfología típica	Wollum (1982)
<b>Grupos microbianos con actividad fisiológica específica</b>				
Lipolíticos	Agar-Tween 80	3	Morfología típica	Wollum (1982)
Celulolíticos	Carboximetilcelulosa	4	Rojo congo y NaCl	Suyama <i>et al.</i> (1993)
Ligninolíticos	Ácido tánico	14	Morfología típica	Subba (1993)
Amilolíticos	Almidón	14	Lugol	Wollum (1982)

Se realizó el análisis de varianza entre tratamientos y entre fechas de muestreo a los resultados de cada grupo microbiano. Se aplicó la prueba de comparación de medias por Tukey con  $p < 0.05$ , empleando el programa Statistical Analysis System Ver. 8.0 (SAS, 1999).

## RESULTADOS

Durante el compostaje y vermicompostaje de los residuos de palma de sombrero, hubo diferencias estadísticas significativas en las medias por Tukey ( $p < 0.05$ ) en los grupos microbianos evaluados tanto entre fechas de muestreo como entre tratamientos, debido a la presencia de lombrices, mezcla de palma con estiércol caprino y tiempos de muestreo.

Cuadro 3. Abundancia microbiana durante el compostaje y vermicompostaje (UFC: unidades formadoras de colonias, MS= materia seca, P= palma, PL= palma y lombriz, PE= palma y estiércol, PEL= palma, estiércol y lombriz).

Días	P	PL	PE	PEL
-----Bacterias (UFC x 10 <sup>6</sup> g <sup>-1</sup> MS)-----				
30	78.5a	90.2a	29.7a	69.9a
60	13.5b	17.0b	3.2c	10.2c
90	27.4b	23.2b	12.9b	21.4b
120	22.2b	1.8c	1.9c	23.5b
-----Hongos (UFC x 10 <sup>4</sup> g <sup>-1</sup> MS)-----				
30	31.5a	34.2b	21.7a	13.4c
60	34.6a	69.2a	10.8b	40.9a
90	16.9b	4.3c	11.2b	19.5b
120	16.6b	3.9c	8.6c	6.9cd
-----Actinomicetos (UFC x 10 <sup>4</sup> g <sup>-1</sup> MS)-----				
30	16.1c	188.4b	4.3c	47.2c
60	65.4c	26.1c	5.6c	35.1c
90	326.0b	892.0a	229.4 <sup>a</sup>	330.4 <sup>a</sup>
120	470.0a	122.0b	96.6b	86.7b

(UFC: unidades formadoras de colonias, MS= materia seca, P= palma, PL= palma y lombriz, PE= palma y estiércol, PEL= palma, estiércol y lombriz). Valores entre fechas de muestreo (columnas) con letras iguales son estadísticamente iguales

En el Cuadro 3 se indican las poblaciones de bacterias, hongos y actinomicetos presentes en las muestras obtenidas durante la biodegradación de residuos de palma de sombrero y su mezcla con estiércol caprino. Se observa la presencia de una clara sucesión microbiana con respecto al tiempo, independientemente del tipo de proceso.

En el Cuadro 4 y Figura 2, se presentan los cambios en las poblaciones de microorganismos con actividad específica asociados a la descomposición de compuestos carbonados. La cantidad de dichos microorganismos durante los procesos de compostaje y vermicompostaje, se debió a la disponibilidad de sustratos necesarios para su desarrollo en función de la composición química de los residuos de palma y del estiércol caprino.

Cuadro 4. Variación de grupos microbianos con actividad específica durante el compostaje y vermicompostaje.

Días	P	PL	PE	PEL
-----Lipolíticos (UFC x 10 <sup>6</sup> g <sup>-1</sup> MS)-----				
30	97.8c	84.9d	61.9b	20.8b
60	336.7b	400.0b	106.7b	64.4b
90	1404.0a	522.0a	476.9a	1091.1a
120	40.0d	116.0c	46.9b	100.9b
-----Celulolíticos (UFC x 10 <sup>4</sup> g <sup>-1</sup> MS)-----				
30	16.7c	26.3b	22.4b	42.8b
60	7.3c	18.7bc	4.1c	13.6c
90	93.2b	106.0a	25.3b	<b>88.7a</b>
120	150.6a	15.2c	35.9a	88.3a
-----Ligninolíticos (UFC x 10 <sup>4</sup> g <sup>-1</sup> MS)-----				
30	0.93b	1.21bc	0.27b	0.45a
60	0.30c	0.25c	0.03d	0.06c
90	2.22a	2.54b	0.15c	0.21b
120	1.28b	10.40a	0.58a	0.18bc

(UFC: unidades formadoras de colonias, MS= materia seca, P= palma, PL= palma y lombriz, PE= palma y estiércol, PEL= palma, estiércol y lombriz). Valores en columnas con letras iguales son estadísticamente iguales

## DISCUSIÓN

**Compostaje y vermicompostaje.** El beneficio más importante del compostaje es la reducción en masa y volumen de cualquier desecho orgánico sin considerar su origen (Breitenbeck and Schellinger, 2004). Después de 150 días la disminución en volumen de residuos de palma sola o mezclada con estiércol caprino, respecto al volumen inicial, variaron de 49.3% a 54.7% en el vermicompostaje, mientras que con el compostaje la reducción en volumen fue de 36.8% en promedio. Los resultados son similares a los reportados por Breitenbeck and Schellinger (2004), por Rodríguez *et al.* (2005) y Baeta *et al.* (2005), quienes encontraron disminuciones en volumen de 40.7% a 57.9%, dependiendo del tipo de residuo orgánico y la duración del proceso de compostaje o vermicompostaje.

La temperatura es el indicador principal de los cambios en la actividad microbiana, por lo cual no debe exceder de 55 °C a 60 °C (Beffa *et al.*, 1995). La temperatura promedio en los tratamientos fue de 26 °C, lo cual indica que no se alcanzó la temperatura típica de la fase termófila, debido a que se utilizaron recipientes de poca profundidad que disipaban la temperatura. Los procesos de compostaje y vermicompostaje de palma se realizaron con microorganismos mesofílicos, lo cual permitió la actividad y sobrevivencia de las lombrices en el vermicompostaje, ya que según Antonella *et al.* (2004) y Tognetti *et al.* (2005) la temperatura mayor a 35 °C mata las lombrices.

Por otro lado, los recipientes utilizados para el compostaje y vermicompostaje, permitieron que el contenido de humedad se mantuviera en los valores indicados como ideales: de 40% a 60% en el compostaje y de 70% a 90% en el vermicompostaje (Tognetti *et al.*, 2005).

**Dinámica microbiana.** El compostaje es un proceso dinámico en el que se producen una serie de cambios físicos y químicos debido a la sucesión de complejas poblaciones microbianas que determinan la calidad del compost obtenido (Baeta *et al.*, 2005; Shang-Shyng, 2005; Torres *et al.*, 2005). Los tratamientos que no tuvieron estiércol (P Y PL) fueron los que presentaron la mayor cantidad de hongos, bacterias y actinomicetos durante los 120 días del compostaje y vermicompostaje (Figura 1).

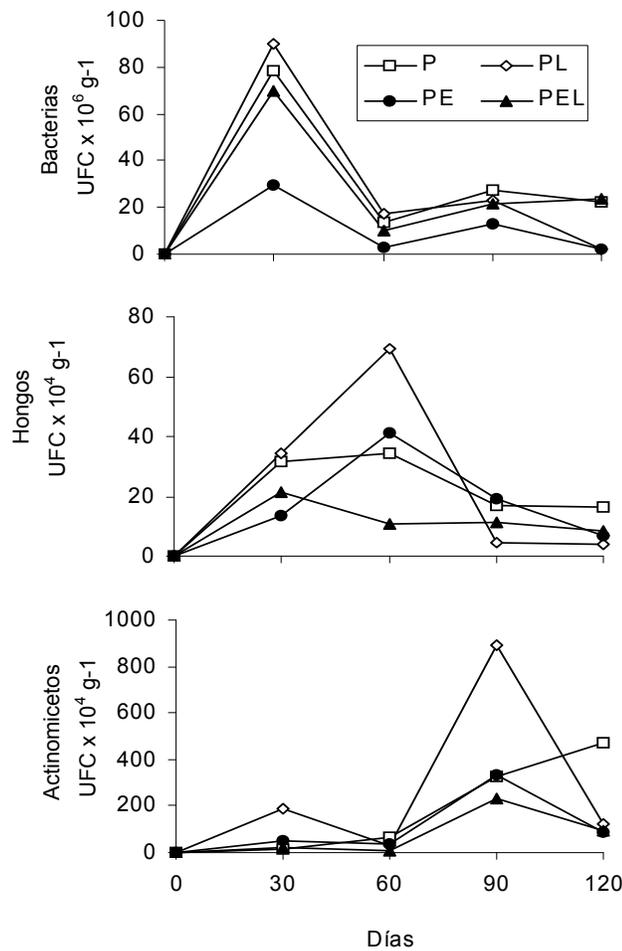


Figura 1. Sucesión microbiana de bacterias, hongos y actinomicetos (UFC: unidades formadoras de colonias, P= palma, PL= palma y lombriz, PE= palma y estiércol, PEL= palma, estiércol y lombriz).

Las poblaciones de bacterias presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre fechas de muestreo para los cuatro tratamientos. Las bacterias fueron los microorganismos más dominantes en los primeros 30 días del compostaje y vermicompostaje de residuos de palma sola o mezclada con estiércol caprino, debido a la alta disponibilidad de fuentes de carbono fácilmente degradables en los residuos de palma. Los hongos tuvieron más materia seca durante los 120 días del compostaje y vermicompostaje. Los tratamientos P y PL (sin estiércol) presentaron mayor población bacteriana que PE y PEL hasta los 90 días (Figura 1). Esto coincide con lo señalado por Herrmann and Shann (1997) y Spela *et al.* (2003) quienes indican que los degradadores iniciales de los residuos orgánicos son las bacterias y los hongos, quienes consumen rápidamente los azúcares y aminoácidos solubles.

A partir de 60 días las bacterias disminuyeron en número al agotarse las fuentes de carbono fácilmente disponibles, por lo cual no hubo diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). Esto coincide con lo obtenido por Santamaría *et al.* (2001) en restos de poda de jardín mezclados con estiércol de conejo y en el trabajo de Rodríguez *et al.* (2005) en bagazo de caña de maguey tequilero.

Las poblaciones de hongos se observaron hasta que disminuyeron las poblaciones de bacterias. A este proceso se le conoce como sucesión microbiana (Ryckeboer *et al.*, 2003), lo cual fue mayor y con diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) solamente en el segundo muestreo realizado a 60 días del compostaje y vermicompostaje de palma sola (P y PL). El tratamiento PL tuvo la mayor población de hongos respecto a los demás tratamientos (Figura 1). Esta sucesión fue detectada también por Rodríguez *et al.* (2005) a 68 días de iniciado el compostaje y vermicompostaje de bagazo de maguey tequilero. En los tratamientos sin estiércol, se desarrollaron hongos macromicetos del género *Coprinus*, que invadieron de micelio los residuos de palma de

sombrero a los 16 días de iniciado el compostaje y produjeron estructuras reproductivas de 5 cm a 8 cm de diámetro a los 24 días.

Los hongos disminuyeron al final del compostaje y vermicompostaje posiblemente debido al incremento del pH (pH de 7.9 a 8.5), ya que los hongos prefieren sustratos ligeramente ácidos (Alexander, 1994). En el compostaje de cascarilla de olivo por 105 días Baeta *et al.* (2005), encontraron que los hongos se presentaron a partir de los 72 días de iniciado el proceso y fueron básicamente hongos mesofílicos, mientras que Zayed and Abdel (2005), encontraron las mayores poblaciones de hongos a los 60 días en el compostaje de bagazo de caña de azúcar.

Herrmann and Shann, (1997) mencionan que en la fase final del compostaje y vermicompostaje aparecen las poblaciones de actinomicetos y reaparecen hongos que utilizaron la celulosa y la lignina como fuente de energía. La actividad de los actinomicetos se presentó a los 90 días cuando las poblaciones de hongos disminuyeron (Figura 1). Los tratamientos P y PL presentaron las mayores poblaciones, mostrando tendencia similar a lo encontrado en el trabajo de Rodríguez *et al.* (2005) en el compostaje y vermicompostaje de bagazo de maguey tequilero. En el compostaje de cascarilla de olivo por 105 días, Baeta *et al.* (2005) encontraron que la mayor población de actinomicetos ocurrió entre 90 y 125 días de iniciado el proceso

**Grupos microbianos con actividad específica.** La diversidad de la población microbiana es el factor decisivo en la fase de maduración del proceso de compostaje, donde se presentan grupos microbianos involucrados en los ciclos del carbono, nitrógeno, azufre y fósforo (Beffa *et al.*, 1995).

La dinámica de los grupos microbianos con actividad específica en el ciclo del carbono se muestran en el Cuadro 4 y Figura 2. Las poblaciones de microorganismos involucrados en el ciclo del carbono mostraron diferencias significativas. La sucesión microbiana fue directamente proporcional a la secuencia de degradación de los residuos de palma solos o mezclados con estiércol caprino, presentándose inicialmente los microorganismos amilolíticos, posteriormente los lipolíticos y celulolíticos y finalmente los ligninolíticos.

En la Figura 2 se observa que la mayor actividad de los microorganismos amilolíticos se presentó en las primeras etapas del compostaje y vermicompostaje. La disponibilidad de fuentes carbonadas en los primeros 60 días como productos de la actividad de bacterias y hongos se reflejó en las poblaciones de microorganismos amilolíticos. No hubo diferencias significativas entre el compostaje y vermicompostaje, aunque en PL y PE se presentaron las poblaciones mayores a los 60 días. Quintero *et al.* (2000) encontraron que los microorganismos amilolíticos tuvieron el mayor crecimiento a los 69 días del compostaje y vermicompostaje de residuos de paja de avena.

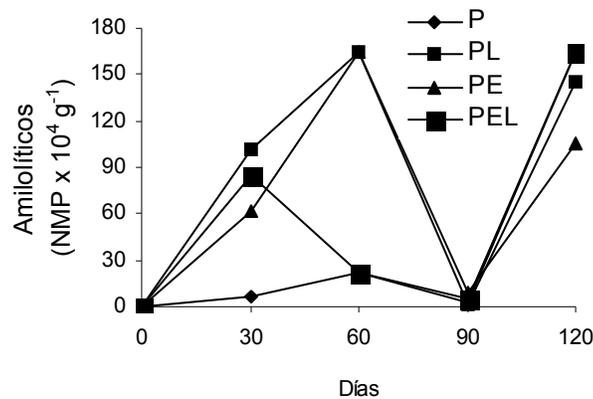


Figura 2. Dinámica de microorganismos con actividad amilolítica (NMP: número más probable, P= palma, PL= palma y lombriz, PE= palma y estiércol, PEL= palma, estiércol y lombriz).

A los 90 días disminuye la población de amilolíticos debido a que ocurren las condiciones ideales para la actividad de los actinomicetos y degradadores de celulosa, lo que según indican Ryckeboer *et al.* (2003), produjo metabolitos que favorecieron la reaparición de microorganismos amilolíticos en la etapa final del compostaje (120 días). La misma tendencia encontraron Rodríguez *et al.* (2005) en compost y vermicompost de bagazo de maguey tequilero y Beffa *et al.* (1995) en el compostaje de lodos residuales.

Los microorganismos lipolíticos se presentaron después que los amilolíticos, existiendo diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en todos los tratamientos a 90 días del compostaje y del vermicompostaje. No existieron diferencias significativas entre ambos procesos, únicamente a los 120 días donde el vermicompostaje (PL y PEL) tuvo la mayor población de microorganismos lipolíticos. Sin embargo, en este último muestreo existió un descenso drástico en la cantidad de microorganismos debido a la madurez del compost y por lo tanto a la menor disponibilidad de compuestos lipídicos.

Los microorganismos celulolíticos degradan celulosa y hemicelulosa que son los componentes más abundantes y de labilidad intermedia entre los compuestos fácilmente solubles y la lignina. Según Torres *et al.* (2005), la sucesión típica de hongos celulolíticos es del género Zygomycetos que atacan azúcares, que en el presente trabajo ocurrió a los 30 días. Posteriormente se presentan hongos del género Basidiomycetos que degradan celulosa, los cuales tuvieron diferencias significativas a 90 y 120 días en los tratamientos P y PL. Al respecto, Velasco *et al.* (2004), encontraron diferencias significativas a 80 días del compostaje; mientras que Quintero *et al.*

(2000), indican que la mayor actividad celulolítica ocurrió en la etapa final del compostaje y vermicompostaje de residuos de paja de avena (115 y 148 días).

La lignina es un compuesto de estructura química compleja que durante el compostaje no es totalmente degradada debido a su estructura aromática, por lo cual es precursor de sustancias húmicas (beffa *et al.*, 1995). Los microorganismos ligninolíticos presentaron la mayor actividad en la etapa final del compostaje y vermicompostaje de residuos de palma para todos los tratamientos, con diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) de los 90 días a 120 días.

Los resultados indican que la degradación microbiana de los residuos de palma de sombrero, solos o mezclados con estiércol caprino, fue un proceso microbiológico complejo que dependió de la sucesión de hongos, bacterias y actinomicetos y de la composición química del material. Ambos aspectos durante el compostaje o vermicompostaje, determinaron la tasa de degradación de la materia orgánica liberando gradualmente compuestos carbonados que crearon las condiciones necesarias para el desarrollo de grupos microbianos con actividad específica que determinaron la calidad del compost obtenido.

Considerando los resultados obtenidos se recomiendan ampliamente los procesos de compostaje y vermicompostaje para reducir el volumen de residuos de palma de sombrero solos o mezclados con estiércol caprino. Se transforman los residuos orgánicos considerados basura en abonos orgánicos, que pueden aplicarse directamente al suelo o utilizarse como sustituto de la turba o tierra de monte en la producción de plantas.

En el compostaje y vermicompostaje ocurrió la sucesión microbiana de bacterias a los 30 días, hongos a los 60 días y actinomicetos a partir de 90 días. En los grupos microbianos con actividad específica en el ciclo del carbono la sucesión fue de acuerdo al patrón de degradación de cualquier material orgánico de compuestos más solubles a más resistentes, presentándose inicialmente los microorganismos amilolíticos, luego los lipolíticos y celulolíticos y finalmente los ligninolíticos.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Alexander M (1982) Most probable number method for microbial populations. En: Page AL (ed) *Methods of soil analysis. Part 2.* Soil Science Society of America. Ma. USA. pp: 815-820.
- Alexander M (1994) *Introducción a la microbiología del suelo.* AGT Editor. México. 491 pp.
- Antonella A, Varese GC, Voyron S, Scannerini S (2004) Characterization of Fungal Biodiversity In Compost and Vermicompost. *Compost Science & Utilization* 12(2): 185-191.
- Baeta HL, Saagua MC, Bartolomeu ML, Anselmo AM, Rosa MF (2005) Bio-degradation of olive oil husks in composting aerated piles. *Bioresource Technology* 96: 69–78
- Beffa T, Blanc M, Marilley L, Lott FJ, Lyon PF, Aragno M (1995) Taxonomic and metabolic microbial diversity during composting. En: Bertoldi D, Sequi M, Papi T (eds) *The Science of Composting.* Blackies Academic and Professional, Glasgow, Scotland. 149-161.
- Breitenbeck GA, Schellinger D (2004) Calculating the Reduction in Material Mass And Volume during Composting. *Compost Science & Utilization* 12 (4): 365–371.
- Chang JI, Tsai JJ, Wu KH (2006) Thermophilic composting of food waste. *Bioresource Technology* 97: 116–122.
- Dincer S, Guvenmez H, Colak O (2003) Mesophilic composting of food waste and bacterial pathogen reduction. *Annals of Microbiology* 53(3): 267-274.
- García GA, Bernal MP, Roig A (2005) Organic Matter Fractions Involved in Degradation and Humification Processes. *Compost Science & Utilization* 13(2): 127-135.
- GEA (2003) La palma: hacia un plan de manejo campesino. *Biodiversitas* 46: 6–10.
- Herrmann RF, Shann JF (1997) Microbial Community Changes During the Composting of Municipal Solid Waste. *Microbial Ecology* 33: 78–85.
- Paul E, Clark F (1996) *Soil microbiology and Biochemistry.* Academic Press. California USA. 340 pp.
- Quintero-Lizaola R, Ferrera-Cerrato R, Etchevers-Barra JD, García-Calderón NE, Rodríguez-Kabana R, Alcantar-González G, Aguilar-Santelises A (2000) Vermicomposteo, composteo y su dinámica microbiana. En: Quintero LR, Trujillo TR, Corlay CHN, García

- CNE (eds) La edafología y sus perspectivas al siglo XXI. Colegio de postgraduados, Universidad Autónoma de Chapingo. México. Pp: 417-428.
- Reinecke AJ, Viljoen SA, Saayman RJ (1992) The suitability of *Eudrilus eugeniae*, *Perionyx excavatus* and *Eisenia fetida* (Oligochaeta) for vermicomposting in Southern Africa in terms of their temperature requirements. *Soil Biol. Biochem.* 24: 1295-1307.
- Rodríguez-Macias R, Quintero-Lizaola R, Alcántar-González G, Ordaz-Chaparro V, Volke-Haller V (2005) Dinámica y cuantificación de grupos microbianos en compost y vermicompost de bagazo de agave tequilero. *Terra Latinoamericana* 23(1): 97-104.
- Ryckeboer J, Mergaert J, Vaes K, Klammer S, Coosemans J, Insam H, Swings J (2003) A survey of bacteria and fungi occurring during composting and self-heating processes. *Annals of Microbiology*, 53 (4): 349-410.
- Santamaría-Romero S, Ferrera-Cerrato R, Almaraz-Suárez JJ, Galvis-Spinola A, Barois-Boullard I (2001). Dinámica y relaciones de microorganismos, C-orgánico y N-total durante el composteo y vermicomposteo. *Agrociencia* 35: 377-384.
- SAS (1999) SAS Institute Inc. Version 8. Shang-Shyng Y (2005) Management of composting. En: FFTC (ed) Compost production: a manual for Asian farmers. Food and Fertilizer Technology Center. Taiwan. 73 pp.
- Singh NB, Khare AK, Bhargava DS, Bhattacharya S (2004) Optimum moisture requirement during vermicomposting using *perionyx excavatus*. *Applied Ecology and Environmental Research* 2(1): 53-62.
- Spela VB, Mihelic R, Lobnik F, Lestan D (2003) Microbial community structure during composting with and without mass inocula. *Compost Science & Utilization* 11(1): 6-15.
- Subba RN (1993) Biofertilizer in agriculture. Oxford Publishing Co. New Delhi, India. 208 p.
- Subler S, Clive E, Metzger J (1998) Comparing vermicomposts and composts. *BioCycle* 39(7): 63-65.
- Suyama K, Yamamoto T, Naganawa T, Iwata T, Komada H (1993) A plate count method for aerobic cellulose decomposers in soil by congo red staining. *Soil Sci. Plant Nutr.* 39: 361-365.
- Tiquia SM, Richard TL, Honeyman MS (2002) Carbon, nutrient, and mass loss during composting. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 62:15-24.
- Tognetti C, Laos F, Mazzarino MJ, Hernández MT (2005) Composting vs. Vermicomposting: A Comparison of End Product Quality. *Compost Science & Utilization.* 13(1): 6-13.
- Torres PA, Abril AB, Bucher EH (2005) Microbial succession in litter decomposition in the semi-arid Chaco woodland. *Soil Biology & Biochemistry* 37: 49-54.
- Velasco-Velasco J, Figueroa-Sandoval B, Ferrera-Cerrato R, Trinidad- Santos A, Gallegos-Sánchez J (2004) CO<sub>2</sub> y dinámica de poblaciones microbianas en composta de estiércol y paja con aireación. *Terra Latinoamericana* 22(3): 307-316.
- Wollum AG (1982) Cultural methods for soil microorganisms. En: Page, AL (ed.). *Methods of soil analysis Part 2.* Soil Science Society of America. Ma. USA. pp: 781-802.
- Zayed G, Abdel MH (2005) Bio-production of compost with low pH and high soluble phosphorus from sugar cane bagasse enriched with rock phosphate. *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 21:747-752.

## **CAPITULO 2. CARACTERIZACIÓN DE SUSTRATOS ELABORADOS CON COMPOST Y VERMICOMPOST DE RESIDUOS DE PALMA DE SOMBRERO<sup>1</sup>.**

### **CHARACTERIZATION OF SUBSTRATES PREPARED FROM COMPOST AND VERMICOMPOST OF “SOMBRERO PALM” WASTES.**

#### **RESUMEN**

Un buen sustrato es fundamental para la producción de plantas de alta calidad. La calidad del compost y su aptitud como sustrato depende de sus propiedades físicas y químicas. Se evaluaron las propiedades físicas, químicas y biológicas de composts y vermicomposts provenientes de residuos de palma de sombrero, solos y mezclados con estiércol de cabra, para estimar su aptitud como sustrato. Las propiedades físicas se determinaron de acuerdo a De Boddt *et al.* (1974). Las propiedades químicas se caracterizaron de acuerdo con la NMX-FF-109-SCFI-2008. El índice de germinación y la producción de CO<sub>2</sub> se usaron para estimar la calidad biológica de los composts. La densidad aparente (Da), el índice de contracción (IC) y las propiedades químicas (excepto pH y CE), estuvieron en los rangos del sustrato ideal (SI). El compost de palma (CP) y el vermicompost de palma (VP) tuvieron mayor porosidad (PT), menor pH y menor conductividad eléctrica (CE) que el SI. El estiércol en el compostaje (CPE) aumentó la Da, el IC, el PH y la CE y disminuyó la PT. CP y CPE tuvieron partículas menores a 1 mm, que ocasionaron que CA fuera inferior y el AFD y AR estuvieran en el óptimo. Además, tuvieron mayor IC y causaron clorosis. El vermicompost de palma (VP) tuvo PT, CA, AFD y AR en el rango recomendado y tuvo el ADD más baja. La CA en el vermicompost de palma y estiércol (VPE) fue óptima. CP, VP y VPE tuvieron ADD superiores al óptimo, que demuestran escasa capacidad de liberar el agua absorbida. El menor IC se tuvo en sustratos con vermicompost. En CP y VP el pH presento

---

<sup>1</sup>Formato de Revista Universidad y Ciencia.  
Por enviar a arbitraje a la revista Chapingo, Serie Horticultura.

valores en el rango recomendado y los sustratos con estiércol tuvieron valores mayores al óptimo. Los sustratos tuvieron más de 25% de material orgánica (MO) recomendado como mínimo. La respiración microbiana fue inferior a  $2 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ compost día}^{-1}$  y el Índice de Germinación fue superior a 80% a excepción de VPE. CP y VP mostraron propiedades físicas y químicas que son importantes como sustratos dentro de los rangos recomendados. CPE y VPE deben tomarse en cuenta antes de usarlos como sustratos en contenedor.

**Palabras clave:** caracterización de sustratos, madurez del compost, estabilidad del compost.

## **ABSTRACT**

A good growing medium is essential to the production of high quality plants. The quality of compost and its suitability for growing media depend upon physical and chemical properties. Selected physical, chemical and biological properties of compost and vermicompost made from sombrero palm wastes alone or mixed with goat manure were evaluated, in order to assess its suitability as substrates. Physical properties were determined according to De Bodt *et al.* (1974). Chemical properties were characterized following the NMX-FF-109-SCFI-2008 standards. Germination index and  $\text{CO}_2$  production tests were used to assess the biological quality of composts. Bulk density (Da), shrinkage index (IC) and chemical properties (with the exception of pH and CE) were within the proposal range for an ideal substrate (SI). Higher total porosity (PT), less pH and less electrical conductivity (CE) were found in palm compost (CP) and palm vermicompost (VP) respect to SI. Goat manure in composting (CPE) increased Da, IC, PH and CE, and decreased PT. Particle size was less to 1 mm in CP and CPE, which caused that CA was

lower to SI and AFD y AR were optimum. Moreover, the IC was high and caused chlorosis. Palm vermicompost (VP) had PT, CA, AFD and AR in recommended values and the lower ADD. Palm and manure vermicompost (VPE) had optimum CA. ADD in CP, VP y VPE was higher than recommended. They have limited capacity to release the absorbed water. Vermicompost substrates had the lesser IC. CP and VP had pH in suggested values and manure substrates had pH higher to optimum. All substrates had more of 25% of organic matter (MO) recommended as minimum. The rate of microbial respiration was lesser to  $2 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ compost day}^{-1}$ . Germination index was above 80% (except in VPE). CP and VP exhibited physical and chemical properties that are important for substrates within the recommended ranges. CPE y VPE must be taken into consideration before using as substrates in container.

**Key words:** substrate characterization, compost maturity, compost stability

## INTRODUCCIÓN

La horticultura ornamental tiene necesidad continua de materiales orgánicos como componentes del medio de crecimiento para la producción de plantas en contenedor. Los cultivos en invernadero se desarrollan en sustratos sin suelo mezclando dos o más componentes, para lograr propiedades físicas y químicas óptimas para el desarrollo de las plantas (Gruszynski and Kampf, 2004; Badran *et al.*, 2007).

Permanentemente se generan numerosos materiales de desecho agroindustrial, pecuario, forestal y urbanos que se acumulan en ciertas áreas o se envían a basureros municipales. Estos residuos

orgánicos regionales se pueden recuperar y valorizar mediante el compostaje o vermicompostaje para usarlos como sustrato, disminuyendo el daño causado por la extracción de turba al ecosistema y minimizando el impacto por la acumulación o su incineración (Mugnai *et al.*, 2007; Carrión *et al.*, 2008; Hargreaves *et al.*, 2008).

Varias publicaciones describen las características de un sustrato ideal. La selección de sustratos alternativos para uso hortícola depende de varios factores, entre otros están su costo, disponibilidad y facilidad de manejo, aunque son preferibles aquellos que tengan propiedades similares a la turba (Hu and Barker, 2004; Mugnai *et al.*, 2007). El compost y vermicompost se han utilizado como componentes de sustratos alternativos a la turba en la actividad viverística y de invernaderos. Son una alternativa viable, ya que proporciona propiedades físicas y químicas similares a la turba (Ortega *et al.*, 1996; Moore, 2004).

La respuesta de las plantas depende del compost empleado y para determinar la aptitud de un compost específico como componente de sustratos, es fundamental conocer sus propiedades químicas, físicas y biológicas antes de utilizarlo, debido a que una vez que se encuentra en el contenedor y la planta está creciendo en él, no es posible modificar sus características físicas (Pastor, 1999; Zapata *et al.*, 2005).

Las características del compost dependen básicamente del material composteado. En la región Mixteca se elaboran diversos productos con hojas de palma de sombrero (*Brahea dulcis* Mart.). En dicha actividad se generan altos volúmenes de residuos orgánicos que se incineran o se envían a los basureros. No existe información sobre la reutilización de residuos de palma, por lo

cual el objetivo del presente trabajo fue realizar la caracterización física, química y biológica de compost y vermicompost generados a partir de residuos de palma de sombrero.

Los resultados servirán para determinar la factibilidad de utilizar residuos de palma de sombrero composteados o vermicomposteados, como medio de crecimiento alternativo a la turba en la producción de plantas. El uso de dichos composts en sustratos orgánicos en viveros e invernaderos, contribuirá a disminuir el consumo de turba y a reciclar los residuos de palma de sombrero, conservando recursos naturales no renovables y disminuyendo daños al ambiente.

## **MATERIALES Y METODOS**

En instalaciones del Programa de Postgrado en Edafología del Campus Montecillo del Colegio de Posgraduados, se realizó el compostaje y vermicompostaje de residuos de palma solos y mezclados con estiércol de cabra en proporción 2:1 en volumen (palma:estiércol). Los productos obtenidos fueron compost de palma (CP), vermicompost de palma (VP), compost de palma y estiércol (CPE) y vermicompost de palma y estiércol (VPE). El compost o vermicompost obtenido se tamizó a 4 mm y se prepararon muestras para determinar las propiedades físicas, químicas y biológicas, que son fundamentales al emplearlos como sustrato.

La conductividad eléctrica (CE) se determinó en extractos de la pasta de saturación con el conductivímetro Conductronic CL-30 y el pH con el medidor de pH Conductronic 130. La determinación de nitrógeno total se realizó por digestión ácida con el método Kjeldahl. El contenido de materia orgánica (MO) se cuantificó por calcinación en mufla a 550°C por dos

horas. El porcentaje de carbono orgánico (CO) se calculó dividiendo el contenido de MO entre 1.724 (factor de Van Benmelen). La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se determinó por el método de acetato de amonio pH 7. La densidad aparente (Da), MO, CO y CIC se determinaron de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008.

Se determinó la curva de retención de humedad de sustratos orgánicos de acuerdo a De Bodt *et al.* (1974). Con este método se obtuvo la porosidad total (PT), capacidad de aireación (CA), agua fácilmente disponible (AFD), agua de reserva (AR) y agua difícilmente disponible (ADD). El tamaño de partículas se determinó gravimétricamente tamizando 100 g de muestra seca con un agitador de tamices CSC Scientific. La apertura de los tamices empleados fueron 0.5, 1 y 2 mm, para separar la fracción granulométrica fina (menor a 1 mm), media (1 mm – 2 mm) y gruesa (mayor a 2 mm). El índice de contracción se determinó como la reducción en volumen del sustrato.

La madurez del compost y vermicompost se determinó mediante bioensayo de germinación modificado de Zucconi *et al.* (1981). Se cuantificó el porcentaje de germinación y la longitud de radícula de semillas de chile de agua, con los cuales se calculó el índice de germinación. Para determinar la estabilidad del compost y vermicompost se evaluó la tasa de respiración microbiana incubando 50 g de suelo a 60% de humedad durante 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 11, 13, y 15 días (Anderson, 1982).

Los resultados se analizaron estadísticamente con análisis de varianza usando el Statistical Analysis System (SAS, 1999). El promedio de las propiedades físicas o químicas se analizó con la prueba de comparación de medias por Tukey. El nivel de significancia se definió en  $P < 0.05$ .

## RESULTADOS

Las principales características físicas y químicas de los sustratos evaluados se presentan en los Cuadros 1 y 2. El análisis estadístico muestra que hubo diferencias significativas entre las propiedades evaluadas y dependió básicamente de la presencia de estiércol durante el compostaje o vermicompostaje.

Cuadro 1. Características físicas de sustratos evaluados

Sustrato	Da (g cm <sup>-3</sup> )	PT	CA	AFD	AR	ADD	IC
		----- % vol -----					
CP	0.18	86.8	9.0	18.4	11.3	48.1	8.5
VP	0.16	88.9	35.2	11.0	3.9	38.9	5.5
CPE	0.38	77.8	12.7	17.6	6.5	41.1	10.0
VPE	0.29	80.1	21.7	4.6	2.5	51.4	5.5
óptimo <sup>a</sup>	< 0.4	>85	20-30	20-30	4-10	24-40	<30%

a: densidad aparente. PT: porosidad total. CA: capacidad de aireación. AFD: agua fácilmente disponible. AR: agua de reserva. IC: índice de contracción. <sup>a</sup>Abad *et al.* (2001).

La densidad aparente de todos los sustratos estuvo dentro de los límites establecidos por Abad *et al.* (2001) para un sustrato ideal (SI) (< 0.4 g cm<sup>-3</sup>). La mayor densidad aparente se tiene en los sustratos CPE y VPE (con estiércol).

La porosidad total mayor a 85% que se recomienda como óptimo se tuvo en CP y VP (sin estiércol). La presencia de estiércol durante el compostaje o vermicompostaje disminuyó la porosidad total a valores inferiores al óptimo, como respuesta al aumento de la densidad aparente.

El CP y CPE, tuvieron la capacidad de aireación más baja e inferior al rango recomendado para el SI. En contraste, estos sustratos tuvieron los valores más altos de agua fácilmente disponible y de agua de reserva. La utilización de *Eisenia foetida* produjo vermicomposts con mayor porosidad y con capacidad de aireación dentro del rangos óptimo en VPE y superior al rango recomendado en VP (Abad *et al.*, 2001). Sin embargo, el agua fácilmente disponible y el agua de reserva son menores respecto al compost e inferiores al rango recomendado por el mismo autor.

El índice de contracción varió de 5.5 a 10% en volumen, el cual es inferior al 30% recomendado como máximo. El menor IC se presentó en los sustratos con vermicompost con 5.5% y está muy relacionado con la densidad aparente y la granulometría de los sustratos. La Figura 1 muestra que los vermicomposts (VP y VPE) tuvieron un balance de partículas finas, medias y gruesas, mientras que los composts tuvieron más de 50% de partículas menores a 1 mm.

Las propiedades químicas se muestran en la Cuadro 2. Los sustratos con estiércol (CPE y VPE) tuvieron la mayor alcalinidad y contenido de sales soluble, con pH y CE mayores a los valores recomendados como óptimos por Abad *et al.* (2001). En CP y VP el pH está en el rango recomendado, mientras que la CE está en el rango recomendado para CP y mayor al óptimo en

VP. Todos los sustratos presentaron valores de pH que están en el rango indicado en la NMX-FF-109-SCFI-2008 (5.5 a 8.5).

El contenido de material orgánica fue inferior al recomendado en todos los sustratos por Abad *et al* (2001), mientras que el nitrógeno estuvo en el rango indicado en la NMX-FF-109-SCFI-2008 (1% a 4%). La relación C/N fue estadísticamente igual para los sustratos e inferior a 20 que se recomienda para el SI. Todos los sustratos tuvieron CIC mayor al 20% recomendado como mínimo para el SI.

En el Cuadro 2 se observa que el índice de germinación (IG) en VPE fue inferior a 80% recomendado para un SI (77.4%), mientras que los demás sustratos variaron de 84% a 89%, lo cual indica que son composts o vermicomposts maduros. La Figura 2 muestra que el CO<sub>2</sub> liberado por la respiración microbiana fue inferior a 2 mg g<sup>-1</sup> compost día<sup>-1</sup>, lo cual indica que los composts y vermicomposts fueron estables.

Cuadro 2. Características químicas de sustratos evaluados

Sustrato	pH	CE (dS m <sup>-1</sup> )	CIC (meq/100g)	MO (%)	Nitrógeno (%)	CO (%)	Relación C/N	ÍG (%)
CP	6.2c	2.7c	70.5ab	68.9a	2.23a	39.9 a	18.0a	84.0
VP	6.0c	4.4b	65.4b	65.5a	2.25a	38.0 a	16.9ab	87.0
CPE	7.9b	4.8b	73.9a	48.0b	2.17ab	27.9 b	12.8b	89.0
VPE	8.5a	6.1a	65.9b	51.5b	2.03b	29.9 b	14.7ab	77.4
DMS	0.4	0.5	5.2	13.2	0.15	7.6	4.1	
Óptimo*	5.2-6.3	< 3.5	> 20	> 80			< 20	>80%

CE: conductividad eléctrica. CIC: capacidad de intercambio catiónico. MO: materia orgánica. CO: carbono orgánico. ÍG: índice de germinación. Medias en columna con la misma letra no son significativas (p<0.05 Tukey).

## DISCUSION

Idealmente, las propiedades de los sustratos tienen que permanecer en los rangos recomendados durante el tiempo que dure el desarrollo del cultivo. Los resultados sugieren que la actividad de las lombrices tuvo un papel determinante en el procesamiento de los residuos de palma de sombrero sola o mezclada con estiércol de cabra. Su actividad aceleró el proceso de descomposición y estabilización, y promovió propiedades físicas, químicas y biológicas favorables para el desarrollo de los cultivos.

Las propiedades físicas de materiales orgánicos son esenciales para determinar su calidad como sustrato. La calidad de los sustratos se relaciona esencialmente con su habilidad para retener y liberar agua y aire a las plantas en recipientes cerrados. Las principales propiedades físicas analizadas fueron Da, PT, CA, AFD e IC. La densidad aparente de todos los sustratos fue de 0.16 a 0.38 g.cm<sup>-3</sup> y estuvieron en el rango propuesto por Abad *et al.* (2001) como valor óptimo (<0.4 g.cm<sup>-3</sup>). La utilización de estiércol incrementó la densidad aparente en CPE y VPE, debido posiblemente al tamaño de partículas. Similarmente Moldes *et al.* (2006), encontraron que el empleo de estiércol aumentó la densidad aparente de compost de corteza de pino.

El efecto del tamaño de partículas es evidente en las propiedades físicas. La distribución del tamaño de partículas de los sustratos varió considerablemente. En la Figura 1 se observa que los sustratos CP y CPE se componen significativamente de partículas menores a 1 mm (58%), lo cual ocasionó que tuvieran menor capacidad de aireación, mayor agua fácilmente disponible y mayor agua de reserva (importantes en la capacidad de retención de humedad). En estos sustratos

las partículas pequeñas obstruyen los poros entre las partículas mayores incrementando la densidad y la retención de humedad.

Por otro lado, los vermicomposts (VP y VPE) tuvieron un balance de partículas finas, medias y gruesas. El VP tuvo 81.5% de particulares menores a 2 mm, de las cuales 44% son de granulometría media y 37.4% de granulometría fina. Lo anterior, le atribuyó condiciones que aumentaron la capacidad de aireación del sustrato a 35% y la porosidad total a 88.9%, cuyos valores son superiores al mínimo recomendado para un SI.

En el caso de VPE, el contenido de partículas mayores a 2 mm y menores a 4 mm fue significativo, lo cual indica que el vermicompostaje en presencia de estiércol favoreció la formación y estabilización de partículas medias y gruesas. En este sustrato existió un equilibrio en el contenido de partículas gruesas, medias y finas, lo cual incrementó la capacidad de aireación a niveles en el óptimo. Sin embargo, la porosidad en ambos vermicomposts favoreció que el agua fácilmente disponible y el agua de reserva disminuyeran a valores inferiores al recomendado. Lo anterior coincide con lo reportado por Zapata *et al.* (2005) quienes encontraron que el vermicompostaje redujo la granulometría menor a un mm y favoreció la granulometría entre 1mm y 2 mm.

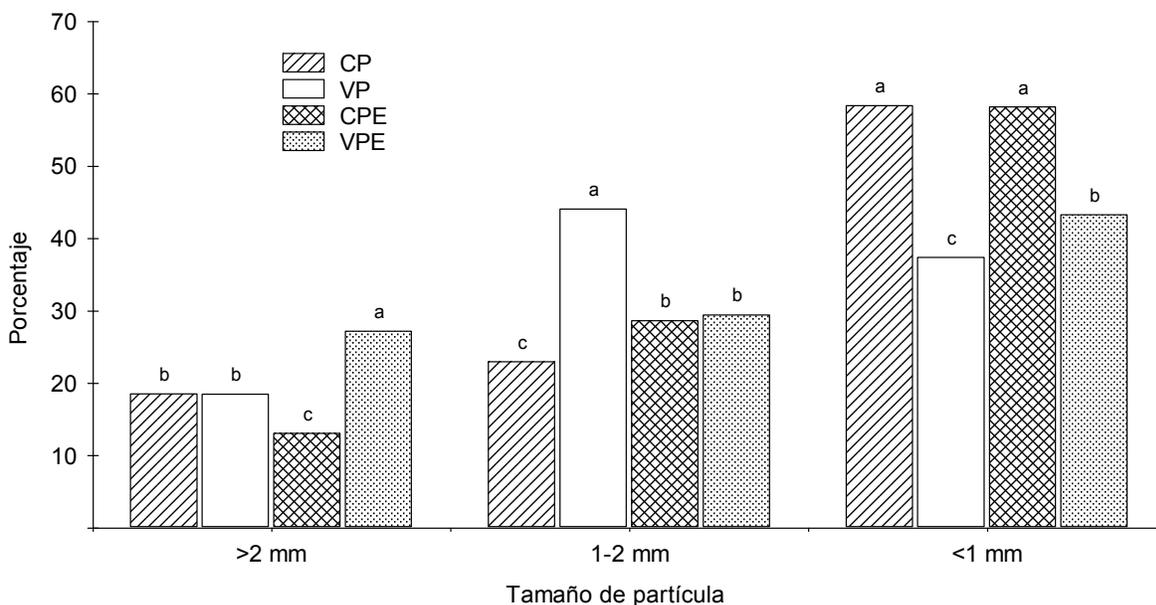


Figura 1. Distribución del tamaño de partícula de composts y vermicomposts. Letras en columnas por tamaño de partícula iguales son estadísticamente iguales por tukey ( $p < 0.05$ ).

El índice de contracción varió de 5.5% a 10% en volumen, el cual fue inferior a 30% recomendado como máximo. El IC fue menor en sustratos con vermicompost, los cuales son porosos y aireados (VP y VPE), mientras que los sustratos CP y CPE tuvieron mayor contracción y causaron clorosis en las plantas de chile de agua, probablemente como reflejo de la aireación inadecuada, de la granulometría de los sustratos, y del pH o CE mayor al óptimo.

En el Cuadro 1 se observa que los sustratos sin estiércol (CP y VP) tuvieron porosidad total mayor al valor recomendado para un sustrato ideal, mientras que el estiércol ocasionó porosidad total menor al óptimo en CPE y VPE. Por otro lado, en el compost de palma y de palma más estiércol (CP y CPE), la CA fue la más baja e inferior al rango recomendado por Abad *et al.* (2001). Sin embargo, dichos sustratos tuvieron los valores de agua fácilmente disponible y del agua de reserva más altos y en el rango recomendado para un SI.

La capacidad de retención de humedad para los sustratos CPE y CP fue la mayor con valores de 65.1% y 77.8% respectivamente, por lo cual estos sustratos estuvieron compactos y saturados, lo que afectó negativamente el desarrollo y proliferación de la raíz y, resultó en reducción del desarrollo del cultivo de chile de agua. Para corregir la alta capacidad de retención de humedad y la baja CA de CP y CPE deberán en futuros trabajos, mezclarse con materiales orgánicos que tengan buen drenaje, con el fin de suministrar aireación a las plantas.

El vermicompost de palma (VP) presento la mayor porosidad y como consecuencia excelente CA e inclusive superior al rango recomendado, mientras que en VPE la CA estuvo dentro del rango óptimo. Sin embargo, el AFD y AR fueron los más bajos e inferiores al límite recomendado para un SI. Al respecto Atiyeh *et al.* (2001) indican que el vermicompost es más uniforme, tiene mejor consistencia y mejor capacidad de retención de humedad. Mientras que Roberts *et al.* (2007) mencionan que la baja capacidad de retención de humedad en 100% de vermicompost puede explicar el desarrollo limitado de plantas creciendo en él.

El porcentaje en volumen de agua difícilmente disponible estuvo en el rango indicado como óptimo por Abad *et al.* (2001) en el vermicompost de palma (VP). En contraste con los demás sustratos, se observaron valores de ADD superiores al rango óptimo, lo que demuestra la escasa capacidad de estos sustratos para liberar el agua absorbida. Según Ansorena (1994) esta característica hace poco recomendable a éstos sustratos.

Raviv (1998) indica que el compost con alta porosidad total y capacidad de aireación puede reemplazar exitosamente a la turba y si esto no se cumple, el compost puede fracasar como

medio de crecimiento. Por lo tanto, el mejor sustrato es el que además de retener agua posee un adecuado contenido de aire para el buen desarrollo de las plantas (VP y VPE).

El VP presento las propiedades físicas evaluadas dentro de los valores recomendados para un SI, a excepción del agua fácilmente disponible, debido a que los poros posiblemente fueron muy grandes y gran parte del agua se perdió por gravedad. Al tratarse de un material con baja capacidad de retención de humedad y porosidad ocupada mayoritariamente por aire, deberán ajustarse la dosis y la frecuencia de riegos de manera que no se pierda la solución nutritiva por gravedad.

Las propiedades químicas esenciales de cualquier material a emplear como sustrato son el pH, CE, MO y CIC. Los composts maduros derivados de diversos materiales y procesos de compostaje tienen generalmente pH entre 6 y 8 (mari *et al.*, 2005). El pH se reconoce como la propiedad más importante que influencia procesos biológicos y químicos del medio, como la disponibilidad nutrimental. El pH en CP y VP presento valores en el rango recomendado para un SI, mientras que los sustratos en donde se empleo estiércol en el proceso de compostaje y vermicompostaje, presentaron valores de pH alcalinos mayores al rango recomendable. Canet *et al.* (2000) encontraron en 74 muestras de compost de 6 plantas de compostaje el pH fue cercano a neutro (típico de compost).

La conductividad eléctrica (CE) es la medición indirecta del contenido de sales solubles en sustratos. Canet *et al.* (2000) encontraron que el valor medio de la CE (extracto 1:5) en 74 muestras de compost de 6 plantas de compostaje fue de 9 - 10 dS m<sup>-1</sup>. Aunque los valores de CE

se consideran altos, existen diferencias significativas debido al estiércol (Cuadro 2), la cual provocó que los sustratos CPE y VPE presentaran el mayor contenido de sales solubles.

El compost de palma no excedió el límite para un SI, mientras que el vermicompost de palma presentó condiciones de salinidad mayor al valor recomendado como óptimo por Abad *et al.* (2001). Sin embargo, VP fue el mejor sustrato para el crecimiento y producción de biomasa seca del cultivo de chile de agua, debido posiblemente a que el chile es sensible o moderadamente sensible a la salinidad durante diferentes etapas de desarrollo como indican Hernández *et al.* (2005). Similarmente, Sánchez *et al.* (2004) evaluaron dos compost con alto contenido de sales (8.5 - 13.2 dS/m) como constituyente de medio de cultivo y reportaron que las mezclas de composts con un sustrato comercial hasta 67%, no tuvo efectos negativos en el desarrollo de brócoli.

La utilización de compost (Moore, 2004) o vermicompost (Atiyeh *et al.*, 2001) gradualmente hasta 100% como componente de sustratos ocasionó mayor concentración de sales solubles. Para eliminar el efecto negativo de la concentración de sales en las plantas Moldes *et al.* (2006) recomiendan realizar lavados, ya que en el cultivo de berro la CE disminuyó en más de 78%.

El contenido de MO fue inferior al 80% recomendado para un SI, aunque todos los sustratos tuvieron más del 25% recomendado por como mínimo. Hubo diferencias estadísticas debido a la presencia de estiércol y los vermicomposts tuvieron el menor contenido de MO y de Nitrógeno que los composts. La relación C/N es uno de los índices de madurez de residuos orgánicos más utilizado. En todos los sustratos fue menor de 20 meq/100g de compost recomendada por Abad

*et al.* (2001) como óptima. De acuerdo a Atiyeh *et al.* (2000) la disminución de la relación carbono nitrógeno a valores menores de 20, indica grado avanzado de estabilización de la materia orgánica y madurez del compost.

La CIC de los sustratos fue 65.4 y 65.9 en vermicomposts y 70.5 y 73.9 en composts, lo cual indica que con esta propiedad todos los sustratos fueron biológicamente estables y maduros. Al respecto Chukwujindu *et al.* (2006) mencionan que valores superiores a 60  $\text{Cmolkg}^{-1}$  de capacidad de intercambio catiónico, significan que el compost es suficientemente maduro para emplearlo en el cultivo de plantas.

Los compost no pueden diferenciarse claramente con base en su madurez aparente. Chukwujindu *et al.* (2006) mencionan que los ensayos con plantas indican cuando los composts están maduros y pueden utilizarse como sustrato sin efectos fitotóxicos. Zucconi *et al.* (1981) caracterizaron composts mediante germinación de berro, concluyendo que el índice de germinación (IG) mayor a 80%, indica la desaparición de fitotoxinas de composts. Sin embargo, se han utilizado diversas especies vegetales como indicador de calidad biológica de composts; así, Emino y Warman (2004) evaluaron semillas de 14 especies para detectar diferencias entre compost maduro e inmaduro proveniente de residuos sólidos municipales.

El IG de semillas de chile de agua fue superior al 80% en los sustratos evaluados a excepción de VPE, debido probablemente al pH y CE mayores a los recomendados como óptimos, indicando composts estables. El IG obtenido se encuentra de 80% a 90%, que se clasifica como maduro, e

indica que los compuestos químicos presentes no están a concentraciones que puedan restringir el desarrollo de plantas de chile de agua.

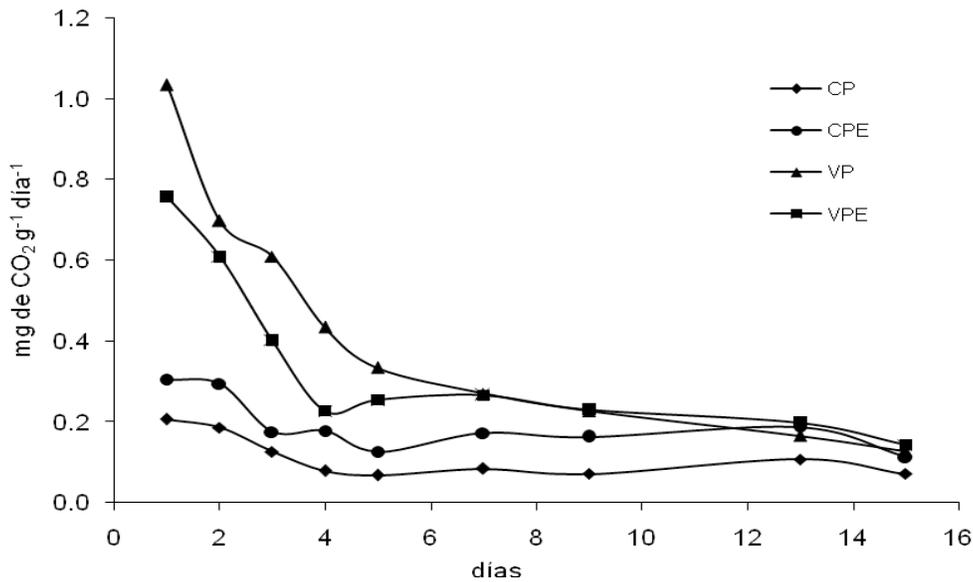


Figura 2. Tasa de respiración microbiana en composts y vermicompost de palma de sombrero

La respiración microbiana en todos los sustratos, aunque detectó la presencia de materia orgánica para degradar, tuvo valores menores a  $2 \text{ mgCO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ . Este valor se interpreta como tasa de respiración “muy baja” que indica que el compost es estable y puede utilizarse sin problemas en la producción de plantas en almácigos o en sustratos. De acuerdo con Gómez *et al.* (2008) la biomasa microbiana disminuye a través del compostaje estabilizándose en la etapa de madurez. La Figura 2 muestra que no hubo diferencia significativa en la producción de  $\text{CO}_2$  entre los composts y vermicomposts. Atiyeh *et al.* (2000) mencionan que la producción de  $\text{CO}_2$  es otro parámetro que demuestra la estabilización de residuos orgánicos.

Los resultados indican que los sustratos evaluados tuvieron madurez y estabilidad aceptable por lo que pueden usarse en horticultura. Además, los residuos de palma solos o mezclados con estiércol de cabra que se utilizaron en el vermicompostaje o compostaje, determinó las propiedades físicas, químicas y biológicas finales.

El CP y VP mostraron propiedades físicas y químicas sobresalientes dentro de los rangos recomendados para sustratos comparado con la turba. El CP tiene potencial para emplearse como medio de cultivo alternativo para el crecimiento de plantas en invernadero, aunque podría tener limitaciones por la preponderancia de partículas menores a 1 mm, que disminuyen la CA y PT. El sustrato de VP puede utilizarse como alternativa viable a la turba en la producción de cultivos, ya que presentó propiedades físicas y químicas óptimas para la producción en invernadero.

El compost y vermicompost provenientes de palma de sombrero más estiércol de cabra tuvieron valores fuera del rango óptimo en la mayoría de las propiedades físicas evaluadas, por lo cual no son adecuados como alternativa a la turba. Son necesarios nuevos estudios que investiguen su efecto en diferente proporción como componente de sustrato en el desarrollo de plantas en invernadero.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Abad, MN., P. Noguera and S. Burés. 2001. National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain. *Bioresource Technology* 77: 197 – 200.
- Anderson, J.P.E. 1982. Soil respiration. P. 831-871. In: A.L. Page et al. (ed). *Methods of soil analysis*. Part 2. 2<sup>nd</sup> ed. ASA and SSSA-Madison. WI. USA.

- Ansorena M., J. 1994. *Sustratos. Propiedades y caracterización*. Mundiprensa. Madrid, España. 171p.
- Atiyeh, R.M., J. Domínguez, S. Subler and C.A. Edwards. 2000. Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (*Eisenia andrei*, Bouché) and the effects on seedling growth. *Pedobiologia* 44: 709–724.
- Atiyeh, R.M., C.A. Edwards, S. Subler and J.D. Metzger. 2001. Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth. *Bioresource Technology* 78: 11 – 20.
- Badran, N.M., O.H. El-Hussieny and E.H. Allam. 2007. Efficiency of some natural substitutes of peatmoss as growing media for tomato seedlings production. *Australian Journal of Basic & Applied Sciences* 1 (3): 193-207.
- Canet, R., F. Pomares, R. Albiach, F. Tarazona, M.A. Ibañez and F. Ingelmo. 2000. Analyzing chemical properties of MSW composts. *BioCycle* 41 (12): 72-75.
- Carrión, C., R. G. de la Fuente, F. Fornes, R. Purchades and M. Abad. 2008. Acidifying composts from vegetable crop wastes to prepare growing media for containerized crops. *Compost Science & Utilization* 16 (1): 20 - 29.
- Chukwujindu, M.A.I., A.C. Egun, F.N. Emuh and N.O. Isirimah. 2006. Compost maturity evaluation and its significance to agriculture. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 9 (15):2933-2944.
- De Boodt M., M. Verdonck, and O. Cappaert. 1974. Method for measuring the waterrelease curve of organic substrates. *Acta Hort.* 37: 2054 – 2062.
- Emino, E.R. and P.R. Warman. 2004. Biological assay for compost quality. *Compost Science & Utilization* 12 (4): 342-348.
- Gómez, B.M., C. Lazcano and J. Dominguez. 2008. The evaluation of stability and maturity during the composting of cattle manure. *Chemosphere* 70(3): 436-444.
- Gruszynski, C. and N. Kampf. 2004. Residues of *Aleurites fordii* (Euphorbiaceae) as a component of plant substrates. *Acta Hort.* 644: 171 – 175.
- Hargreaves, J.C., M.S. Adl and P.R. Warman. 2008. A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 123: 1 – 14.
- Hernández A.L, A.M. Gascó, J.M. Gascó and F. Guerrero. 2005. Reuse of waste materials as growing media for ornamental plants. *Bioresource Technology* 96:125–131.
- Hu, Y and A. Barker. 2004. Evaluation of composts and their combinations with other materials on tomato growth. *Communications in Soil Science and Plant analysis* 35: 2789 – 2807.
- Moldes, A., Y. Cendón, E. López, and M.T. Barral. 2006. Biological quality of potting media based on MSW composts: a comparative study. *Compost Science & Utilization* 14 (4): 296-302.
- Moore, K.K. 2004. Using Seaweed Compost To Grow Bedding Plants. *BioCycle* 45(6): 43-44.
- Mugnai, S., T. Pasquini, E. Azzarello, C. Pandolfi and S. Mancuso. 2007. Evaluation of Composted Green Waste In Ornamental Container-Grown Plants: Effects on growth and plant water relations. *Compost Science & Utilization* 15(4):283-287.
- NMX-FF-109-SCFI-2008. Humus de lombriz (lombricomposta) - especificaciones y metodos de prueba. Secretaría de economía. Dirección de Normalización. Publicada el 10 de junio de 2008 en el Diario Oficial.
- Ortega, M.C, M.T. Moreno, J. Ordovás, M.T. Aguado. 1996. Behaviour of different horticultural species in phytotoxicity bioassays of bark substrates. *Scientia Horticulturae* 66: 125-132.

- Pastor S., J.N. 1999. Utilización de sustratos en viveros. *Terra* 17 (3): 231-235.
- Raviv M. 1998. Horticultural uses of composted material. *Acta Hort.* 469: 225 – 234.
- Roberts, P., C.A. Edwards, G.E. Jones and D.L. Jones. 2007. Responses of Common Pot Grown Flower Species To Commercial Plant Growth Media substituted with vermicomposts. *Compost Science & Utilization* 15(3): 159-166.
- Sánchez, M.M.A., A. Roig, J. Cegarra, M.P. Bernal, P. Noguera, M. Abad and A. Antón. 2004. Composts as Media Constituents for Vegetable Transplant Production. *Compost Science & Utilization* 12(2): 161-168.
- SAS for Windows. 1999. Statistical Analysis System. Ver. 8. Cary, North Carolina. USA.
- Zucconi, F., A. Pera, M. Forte and M. de Bertoldi. 1981. Evaluating toxicity of immature compost. *Biocycle* 22(2): 54 - 57.
- Zapata, N., Guerrero, F. y Polo, A.: 2005. Evaluación de Corteza de Pino y Residuos Urbanos como Componentes de Sustratos de Cultivo. *Agricultura Técnica* 65 (4): 387-400.

### **CAPITULO 3. COMPOST Y VERMICOMPOST DE RESIDUOS DE PALMA DE SOMBRERO COMO SUSTRATO EN CHILE DE AGUA<sup>2</sup>**

#### **COMPOST AND VERMICOMPOST OF “SOMBRERO PALM” WASTES AS GROWTH MEDIA FOR CHILLI.**

#### **RESUMEN**

La horticultura requiere residuos orgánicos como componentes de sustratos. La alternativa a la turba es el compost o vermicompost de residuos orgánicos regionales. Se evaluó la aptitud como sustrato de compost y vermicompost obtenido de residuos de palma de sombrero, solos y mezclados con estiércol de cabra, para el cultivo de chile de agua en invernadero, comparado con turba (Sunshine Mix3). El cultivo se desarrolló por 124 días aplicando solución nutritiva. Se determinó el desarrollo y la producción de materia seca de las plantas de chile. El menor desarrollo se obtuvo con compost de palma y estiércol (CPE), mientras que el mayor fue en vermicompost de palma (VP). En compost de palma (CP) todas las variables fueron estadísticamente iguales al testigo (S). Las variables de desarrollo y biomasa fueron mayores en vermicompost de palma (VP) respecto a S. VP tuvo 89% más bifurcaciones, 393% más frutos, biomasa aérea 117% mayor y la producción de frutos se incrementó 177%. VP tuvo su sistema radicular más vigoroso y distribuido en todo el sustrato. El compost y vermicompost obtenidos de palma mezclada con estiércol de cabra (CPE y VPE) presentaron menor altura de planta (38%) y diámetro de tallo (35%). La actividad de las lombrices en VPE mejoró la respuesta del chile de agua respecto a CPE. Es posible usar CP y VP como sustratos alternativos a la turba

---

<sup>2</sup> Revista Universidad y Ciencia.  
Por enviar a arbitraje a la revista Biorresource Technology.

para el crecimiento de plantas en invernadero, and ayudar a conservar los recursos finitos de turba. CPE y VPE no son adecuados para sustituir a la turba. Se requieren nuevos estudios sobre diferentes proporciones de CPE y VPE como componente de sustrato.

**Palabras clave:** medio de cultivo, sustituto de turba, sustrato alternativo

## **ABSTRACT**

Organic wastes as substrates constituents are required for horticulture. Compost and vermicompost from regional organic wastes are excellent peat alternatives. The suitability as substrate of finished compost and vermicompost from sombrero palm wastes alone and mixed with goat manure, were evaluated under greenhouse conditions for chili growth in comparison with peat (Sunshine Mix3). Plants were grown for 124 days and supplied with a mineral nutrient solution. Plant growth and biomass production were determined. The lowest rate of plant growth was obtained with palm and manure compost (CPE), while the highest was obtained with palm vermicompost (VP). Palm compost (CP) had all parameters statistically comparable to control (S). Palm vermicompost (VP) had higher plant growth and productivity compared to S. VP had more branches (89%), more fruits (393%), more shoot dry weight (117%) and fruit dry weight (177%). Moreover, the roots in VP were more vigorous and best distributed in all substrate. Compost and vermicompost derived from palm mixed with goat manure (CPE and VPE) exhibited less plant height (38%) and shoot diameter (35%). Worms activity (VPE) improved the growth of chili compared to CPE. It is possible to use CP and VP as alternative growing media to peat in greenhouse plant growth, and would help to conserve finite peat resources. CPE y VPE

were unsuitable as peat substitute. Other studies are indispensable about CPE y VPE proportion as substrate component.

**Key words:** Growing media, peat substitute, alternative substrate

## INTRODUCCIÓN

Los cultivos en invernadero se desarrollan en sustratos, sin suelo, mezclando dos o más componentes orgánicos, para lograr propiedades físicas y químicas óptimas para el desarrollo de las plantas (Gruszynski and Kampf, 2004).

La turba, fibra de coco y corteza de pino son los constituyentes principales de las mezclas en sustratos (hasta 70% en volumen), debido a sus excelentes propiedades físicas, químicas y biológicas. Sin embargo, estos productos son cada vez más caros, debido a que se importan y menos disponibles por motivos ecológicos (Moldes *et al.*, 2006; Mugnai *et al.*, 2007). La alternativa a la turba es utilizar compost o vermicompost de residuos orgánicos regionales, que reduzcan el costo de dichas mezclas (Castillo *et al.*, 2004; Carrión *et al.*, 2008; Zai *et al.*, 2008).

El compostaje y vermicompostaje están incrementando su importancia como alternativa de manejo de cualquier tipo de residuo orgánico (Carrión *et al.*, 2008). Para producir plantas de calidad en invernadero, se están evaluando muchos subproductos orgánicos de origen pecuario, forestal, agro-industrial o urbano como sustratos (Hu and Barker, 2004, Zapata *et al.*, 2005; Dede *et al.*, 2006). Estos subproductos son relativamente baratos, locales y fácilmente disponibles,

entre ellos sobresalen el compost obtenido de estiércoles, de corteza de pino, de cascarilla de arroz, de lodos residuales o de residuos de jardinería (Urrestarazu *et al.*, 2001; Moldes *et al.*, 2006).

Hay abundancia de información científica que menciona los efectos benéficos potenciales de composts en la agricultura y horticultura (Leroy *et al.*, 2008). En la región mixteca se utilizan las hojas de palma de sombrero (*Brahea dulcis* Mart.) para elaborar diversos productos artesanales de palma. En la elaboración de sombreros se producen grandes volúmenes de residuos orgánicos, considerados de nulo o escaso valor económico, cuyo destino es el basurero o se incineran. La acumulación de tales residuos representa un serio problema ambiental.

Para reducir el impacto ambiental que ocasiona la disposición de dichos residuos, el compostaje o vermicompostaje son las alternativas viables, para utilizarlos como componente de sustratos en la producción de cultivos en invernadero. Debido a la falta de información al respecto, el objetivo fue evaluar el compost y vermicompost obtenidos de residuos de palma de sombrero, como sustrato alternativo a la turba en el cultivo en chile de agua (*Capsicum annumm* L.).

Los resultados serán de utilidad para los productores de chile de agua en invernadero, el cual es un cultivo altamente redituable en Oaxaca, México, considerando el auge en la construcción de invernaderos como alternativa de desarrollo para zonas semiáridas, los cuales requieren de sustratos orgánicos.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El experimento se realizó en el invernadero de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, de Junio a Noviembre de 2007. Se elaboró compost y vermicompost de residuos de palma solos y mezclados con estiércol de cabra en proporción 2:1 en volumen (palma:estiércol). Los productos obtenidos fueron compost de palma (CP), vermicompost de palma (VP), compost de palma y estiércol (CPE) y vermicompost de palma y estiércol (VPE). Los composts o vermicomposts se tamizaron a 4 mm y se utilizaron como sustrato al 100%. Como sustrato testigo se utilizó la turba Sunshine Mix3 (S).

Se utilizaron plántulas obtenidas de semilla criolla de chile de agua germinadas en charolas de poliestireno de 24 cavidades. Se utilizó arena de río como sustrato para la germinación y hasta que las plántulas tuvieron dos hojas verdaderas fueron trasplantadas. El trasplante se realizó colocando una plántula en bolsas para vivero de polietileno negro de 2 L.

Se preparó la solución nutritiva de Steiner empleando reactivos grado analítico. Durante el desarrollo del cultivo y hasta la floración se aplicó diariamente 0.5 L de solución nutritiva por unidad experimental diluida a 50%. Posteriormente se utilizó solución nutritiva al 100% hasta la cosecha.

Cada 15 días se determinó la altura de planta (del nivel del sustrato al ápice) y el diámetro del tallo. Se contabilizó el número de hojas y en su momento, el número de flores y frutos. Al finalizar el experimento se obtuvo por separado la raíz, parte aérea y frutos, los cuales se secaron a 60°C en una estufa FISHER de circulación forzada de aire hasta peso constante.

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental completamente al azar con cinco repeticiones. Se realizó análisis de varianza para identificar significancia estadística. Se realizó la comparación de medias de tratamientos contra media del sustrato comercial definido como testigo usando Dunnet ( $p < 0.05$ ). Para el análisis estadístico se empleó el Statistical Analysis System (SAS, 1999).

## RESULTADOS

Hubo diferencias significativas (Dunnet  $p \leq 0.05$ ) debido a los factores estiércol y actividad de lombrices, los cuales influyeron de manera directa en las propiedades del sustrato y en el comportamiento de las variables de desarrollo y productividad del chile de agua. En el Cuadro 1 se observa la respuesta del cultivo de chile de agua en los sustratos evaluados y en el sustrato testigo (turba comercial).

Cuadro 1. Variables evaluadas en el cultivo de chile de agua<sup>†</sup>.

Sustrato	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Número por planta		
			Bifurcaciones	Flores	Frutos
S	32.0	7.6	19.0	14.3	7.3
CP	26.0	6.4	22.3	10.0	7.7
VP	40.7	8.5	36.0**	40.7**	36.0**
CPE	17.0** <sup>‡</sup>	5.2**	15.3	4.7	2.0
VPE	21.3**	4.7**	20.7	10.0	5.7
DMS <sup>§</sup>	10.4	1.3	9.5	14.2	8.7

<sup>†</sup>Promedio de cinco repeticiones. <sup>‡</sup>Valores en columnas estadísticamente diferentes según Dunnet (\*\*  $p < 0.05$ ). <sup>§</sup>Diferencia mínima significativa. S: testigo.

La altura y el diámetro de plantas de chile de agua desarrollándose en compost (CP) y vermicompost (VP) obtenidos de palma de sombrero, fueron estadísticamente iguales al sustrato

testigo. La actividad de las lombrices en el vermicompost de palma presentó los valores mayores de estas variables.

La altura y diámetro de tallo del chile de agua que se trasplantó en el compost y el vermicompost obtenidos de la mezcla de palma y estiércol de cabra, fueron estadísticamente diferentes al testigo. La presencia de estiércol provocó que las plantas de chile de agua desarrolladas en estos sustratos, tuvieran los valores más bajos de altura y diámetro.

El número de bifurcaciones, flores y frutos de plantas de chile de agua fue estadísticamente diferente al sustrato comercial solo para VP. Por otro lado, los valores menores de estas variables se obtuvieron en CPE (Cuadro 1). Todas las variables evaluadas tuvieron los menores valores en CPE y VPE, debido a las propiedades del sustrato que generó el empleo del estiércol de cabra durante el compostaje o vermicompostaje.

La Figura 1 muestra el peso de materia seca de la parte aérea, de los frutos cosechados y de la raíz. El peso de materia seca de frutos fue estadísticamente diferente en vermicompost de palma, el cual tuvo los mayores valores. Los sustratos CP y VPE fueron estadísticamente similares al testigo (S), aunque tuvieron menor producción de frutos de chile de agua. CPE mostró diferencias significativas respecto al sustrato comercial, indicando que fue el sustrato con la producción más baja de materia seca de frutos de chile de agua.

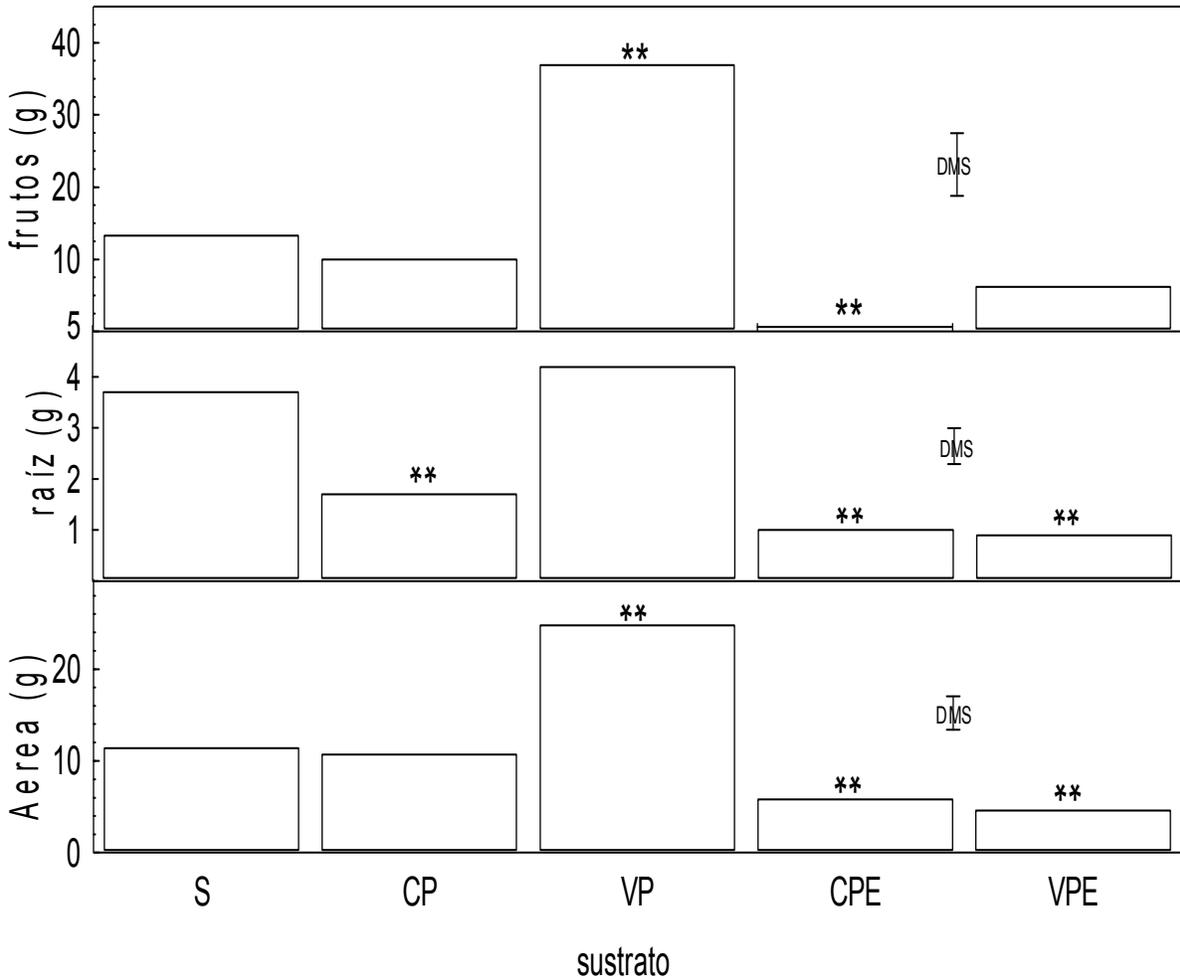


Figura 1. Producción de materia seca de parte aérea, raíz y frutos de chile de agua. Promedio de cinco repeticiones. \*\*Valores diferentes según Dunnet. DMS: Diferencia mínima significativa ( $p < 0.05$ ).

El vermicompost de palma resultó estadísticamente similar al testigo en el peso de materia seca de raíz. Los sustratos CP, CPE y VPE fueron estadísticamente diferentes al testigo con menor producción de materia seca de raíz, lo cual limita su utilización como sustratos en la producción de chile de agua.

El vermicompost de palma tuvo la mayor producción de materia seca de la parte aérea y mostró diferencias significativas respecto al sustrato comercial. El compost de palma fue estadísticamente igual al sustrato comercial, mientras que los sustratos CPE y VPE tuvieron los menores valores de biomasa aérea de chile de agua y fueron estadísticamente diferentes al testigo.

## **DISCUSION**

Hu y Barker (2004) recomiendan realizar mezclas de compost con turba para elaborar sustratos que maximicen los rendimientos de los cultivos. Ambiental y económicamente es mejor emplear la mayor proporción de compost posible. Las variables de crecimiento del chile de agua mostraron la influencia de las propiedades físicas y químicas de los sustratos.

La proporción de compost como componente de sustrato es variable dependiendo del tipo de residuos composteados. En el presente trabajo se evaluaron los productos del compostaje y vermicompostaje de palma de sombrero sola y palma mezclada con estiércol caprino como sustrato al 100%. En general se recomienda emplear 30% a 50% de compost como parte del sustrato (Moore, 2004). Para evitar daños a las plantas se sugiere emplear máximo 30% de compost de lodos residuales (Hernández *et al.*, 2005), 50% de compost de aserrín de sauce (Gariglio *et al.*, 2004), 60% de vermicompost de estiércol de cerdo (Atiyeh *et al.*, 2000), 67% de compost de paja de sorgo (Sánchez *et al.*, 2004), entre otros.

Lo que interesa es reciclar los residuos de palma de sombrero. El compostaje de dichos residuos produjo un compost de apariencia similar a la turba con densidad aparente baja ( $0.18 \text{ g cm}^{-3}$ ). En el Cuadro 1 se observa que al emplear el CP como medio de crecimiento, todas las variables evaluadas en plantas de chile de agua fueron estadísticamente iguales al sustrato testigo (S) a base de 100 % turba (altura de planta, diámetro de tallo, y número de bifurcaciones, flores y frutos). Sin embargo, con CP disminuyó la altura de planta en 19%, el diámetro de tallo en 16% y el número de flores en 31%.

El peso de materia seca de la parte aérea y de frutos de chile de agua obtenidos con CP, también fue estadísticamente igual a S. El peso de materia seca de la parte aérea disminuyó 6%, las raíces en 54% y los frutos en 25%. Clark y Cavigelli (2005) emplearon compost de residuos de jardinería mezclados con residuos de alimentos como sustrato al 100% y concluyeron que el compost se comportó similar al sustrato con turba en la producción de lechuga. Similarmente, Moldes *et al.* (2006) encontraron que el desarrollo de berro en sustratos con compost de residuos sólidos urbanos o de corteza de pino composteada, fue superior al crecimiento en turba sola como sustrato.

El vermicompost de palma también fue similar en apariencia a la turba. Su densidad aparente fue baja ( $0.16 \text{ g cm}^{-3}$ ) y su porosidad alta (89%). Roberts *et al.* (2007) mencionan que el vermicompost tiene propiedades fisicoquímicas y microbiológicas que favorecen su empleo como sustrato para cultivar plantas. Las variables evaluadas en VP fueron mayores respecto al empleo de turba y mucho más que al usar CP como sustratos. Atiyeh *et al.* (2001) en vermicompost de estiércol de cerdo al 100% encontraron que el desarrollo de plántulas de

jitomate difiere significativamente del control, con más hojas, mayor altura y mayor biomasa seca que el control.

El VP fue estadísticamente igual al sustrato testigo (S) en altura de planta, diámetro de tallo y peso de materia seca de raíz (Cuadro 1 y Figura 1). El vermicompost de palma incrementó estas variables, respecto a S, en 27% para altura de planta, 11% para diámetro de tallo y 13 % en raíz del cultivo de chile de agua.

El mejor desarrollo de la planta en el sustrato con VP propició que hubiera significancia estadística en el número de bifurcaciones, de flores y de frutos y por consiguiente en la biomasa aérea y de frutos respecto al sustrato comercial. El chile de agua producido en VP tuvo 89% más bifurcaciones, 184 % más flores y 393% más número de frutos que el tratamiento testigo. El peso seco de biomasa aérea fue mayor en 117% y 177% en frutos. El peso de materia seca de la raíz fue estadísticamente igual a S, sin embargo, se observó un sistema de raíces vigoroso que se dispersaron a través de todo el sustrato VP, que contribuyó definitivamente al mejor desarrollo.

En contraste, los tratamientos de compost y vermicompost obtenidos de la palma de sombrero mezclada con estiércol de cabra (CPE y VPE) presentaron la menor altura y diámetro de planta, la cual fue estadísticamente diferente al sustrato comercial. Como consecuencia del menor desarrollo vegetativo, el peso de materia seca de parte aérea, raíz y frutos fue también diferente.

La altura de las plantas disminuyó en promedio 38% y el diámetro de tallos 35%, debido a la presencia de estiércol que provocó mayor alcalinidad y salinidad de dichos sustratos (datos no

mostrados). El pH y la conductividad eléctrica de ambos sustratos fueron superiores al límite establecido para un sustrato ideal (Abad *et al.*, 2001). Cáceres *et al.* (1998) mencionan que el compost obtenido de estiércol vacuno tiene alta alcalinidad y salinidad, por lo cual es necesario mezclarlo con otro residuo antes del compostaje, sin embargo, la mezcla del estiércol con residuos de palma de sombrero en este trabajo no disminuyó los valores en estas propiedades químicas.

La actividad de las lombrices en VPE, permitió mejorar la respuesta del chile de agua expresado en las variables evaluadas respecto a la ausencia de lombrices (CPE), respuesta mucho más clara en VP respecto a CP que no tiene estiércol. Lo anterior evidencia que la actividad de las lombrices mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas de los residuos de palma de sombrero y permite obtener un sustrato adecuado para producir cultivos en invernadero. Similarmente, Atiyeh *et al.* (2000) concluyeron que el vermicompost de estiércol bovino estimuló el crecimiento de plantas de jitomate y de lechuga en comparación al estiércol solo y a un sustrato comercial, sugiriendo que fue debido a sus características físicas y químicas más favorables.

Los sustratos provenientes del compostaje (CP y CPE) tuvieron partículas de menor tamaño (más de 50% de partículas menores a 1 mm (resultados no mostrados) que provocaron menor porosidad de aireación, que a su vez influyó también en valores menores de las variables evaluadas respecto al sustrato VP. Por esta razón la combinación presencia de estiércol y ausencia de lombrices, ocasionó que con el sustrato CPE se tuviera la menor respuesta estadísticamente significativa del cultivo de chile de agua en todas las variables evaluadas.

El análisis de los resultados indica que el CP tiene potencial para emplearse como medio de cultivo para el crecimiento de plantas en invernadero, ya que aunque el cultivo de chile de agua se desarrolló menos que en turba, la diferencia no es estadísticamente significativa.

El VP puede utilizarse como alternativa viable y costeable a la turba en la producción de cultivos, ya que el chile de agua desarrollándose en él, tuvo los valores mayores en las variables de crecimiento y en la biomasa de parte aérea, raíz y frutos.

Los sustratos provenientes de palma de sombrero más estiércol de cabra tuvieron los menores valores en las variables de crecimiento y en la biomasa seca de chile de agua respecto al sustrato comercial, por lo cual no son adecuados para sustituir a la turba. Son necesarios nuevos estudios que investiguen los efectos de CPE y VPE en diferente proporción como componente de sustrato en el desarrollo de plantas.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Abad, M.N., P. Noguera and S. Burés. 2001. National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain. *Bioresource Technology* 77: 197 – 200.
- Atiyeh, R.M., J. Domínguez, S. Subler and C.A. Edwards. 2000. Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (*Eisenia andrei*, Bouché) and the effects on seedling growth. *Pedobiologia* 44: 709–724.
- Atiyeh, R.M., C.A. Edwards, S. Subler and J.D. Metzger. 2001. Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth. *Bioresource Technology* 78: 11 – 20.
- Cáceres, R., C. Olivella, A. M. Puerta and O. Marfa. 1998. Cattle manure compost as a substrate I. Static or dynamic composting strategies. *Acta Hort.* 469: 203 – 212.
- Carrión, C., R. G. de la Fuente, F. Fornes, R. Purchades and M. Abad. 2008. Acidifying composts from vegetable crop wastes to prepare growing media for containerized crops. *Compost Science & Utilization* 16 (1): 20 - 29.

- Castillo, J. E., F. Herrera, R. J. L. Bellido; F. J. L. Bellido and E.J. Fernández. 2004. Municipal Solid Waste (MSW) Compost as a Tomato Transplant Medium. *Compost Science & Utilization* 12(1): 86-92.
- Clark, S. and M. Cavigelli. 2005. Suitability of Composts as Potting Media for Production of Organic Vegetable transplants. *Compost Science & Utilization* 13(2): 150-156.
- Dede, O.H., G. Koseoglu, S. Ozdemir and A. Celebi. 2006. Effects of Organic Waste Substrates on the Growth of Impatiens. *Turk. J. Agric. For.* 30:375-381
- Gariglio, N.F., M.A. Buyatti, C.A. Bouzo, M.E. Weber and R.A. Pilatti. 2004. Use of willow (*Salix sp.*) sawdust as a potting medium for caléndula (*Calendula officinalis*) and marigold (*Tagetes erecta*) plant production. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 32: 147-151.
- Gruszynski, C. and N. Kampf. 2004. Residues of *Aleurites fordii* (Euphorbiaceae) as a component of plant substrates. *Acta Hort.* 644: 171 – 175.
- Hernández A.L, A.M. Gascó, J.M. Gascó and F. Guerrero. 2005. Reuse of waste materials as growing media for ornamental plants. *Bioresource Technology* 96:125–131.
- Hu, Y and A. Barker. 2004. Evaluation of composts and their combinations with other materials on tomato growth. *Communications in Soil Science and Plant analysis* 35: 2789 – 2807.
- Leroy, B.L.M., H.M.S. Herath, S. Neve, D. Gabriels, L. Bommele, D. Reheul and M. Moens. 2008. Effect of vegetable, fruit and garden (VFG) waste compost on soil physical properties. *Compost Science & Utilization* 16 (1): 43-51.
- Moldes, A., Y. Cendón, E. López and M.T. Barral. 2006. Biological quality of potting media based on MSW composts: a comparative study. *Compost Science & Utilization* 14 (4): 296-302.
- Moore, K.K. 2004. Using Seaweed Compost To Grow Bedding Plants. *BioCycle* 45(6): 43-44.
- Mugnai, S., T. Pasquini, E. Azzarello, C. Pandolfi and S. Mancuso. 2007. Evaluation of Composted Green Waste In Ornamental Container-Grown Plants: Effects on growth and plant water relations. *Compost Science & Utilization* 15(4):283-287.
- Roberts, P., C.A. Edwards, G.E. Jones and D.L. Jones. 2007. Responses of Common Pot Grown Flower Species To Commercial Plant Growth Media substituted with vermicomposts. *Compost Science & Utilization* 15(3): 159-166.
- Sánchez, M.M.A., A. Roig, J. Cegarra, M.P. Bernal, P. Noguera, M. Abad and A. Antón. Composts as Media Constituents for Vegetable Transplant Production. 2004. *Compost Science & Utilization* 12(2): 161-168.
- SAS for Windows. 1999. Statistical Analysis System. Ver. 8. Cary, North Carolina. USA.
- Urrestarazu, M., M. Salas, J. Moreno and G. Carrasco. 2001. Evaluation of different composts from horticultural crop residues and their uses in greenhouse soilless cropping. *Acta Hort.* 549: 147 – 152.
- Zai, A.K., T. Horiuchi and T. Matsui. 2008. Effects of green manure and compost of pea plant on wheat. *Compost Science & Utilization* 16 (4): 275-284.
- Zapata, N., Guerrero, F. y Polo, A.: 2005. Evaluación de Corteza de Pino y Residuos Urbanos como Componentes de Sustratos de Cultivo. *Agricultura Técnica* 65 (4): 387-400.

## CONCLUSIONES GENERALES

El compost de palma de sombrero presentó propiedades físicas, químicas y biológicas en los rangos indicados como óptimos para emplearse como sustrato. Sin embargo, su granulometría fina (menor a 1 mm) ocasionó que la capacidad de aireación de dicho sustrato, fuera inferior al óptimo, provocando compactación y falta de aireación a las raíces, que limitaron el desarrollo de chile de agua.

El vermicompostaje favoreció la formación de agregados. Presentó granulometría media (1 a 2 mm) y capacidad de aireación en los sustratos VP y VPE dentro de los rangos recomendados para un sustrato ideal. Ambas características favorecieron que el desarrollo y productividad de chile de agua fuera excelente en VP respecto a la turba. En el vermicompost de palma mezclada con estiércol, el pH y la conductividad eléctrica limitaron el desarrollo de chile de agua.

El empleo de estiércol en el compostaje y vermicompostaje ocasionó que el pH y CE fueran mayores al óptimo, lo cual disminuyó el desarrollo y producción de chile de agua. Simultáneamente, estos sustratos tuvieron las menores poblaciones de bacterias, hongos y actinomicetps y de los microorganismos participantes en el ciclo del carbono.

El CP y VP tienen potencial para emplearse como medio de cultivo en el crecimiento de plantas en invernadero y pueden utilizarse como alternativa viable a la turba en la producción de cultivos en invernadero.

Personalmente, considero que el compostaje y vermicompostaje son tecnologías sustentables, que permiten reutilizar los residuos de palma de sombrero como abonos orgánicos en dos vertientes: aplicado directamente al suelo o como sustrato, sustituyendo parcial o totalmente a los medios de cultivo comerciales. Estos últimos son costosos y la legislación está limitando su extracción de ecosistemas naturales.

Visualmente, el compost y vermicompost obtenido de palma son de apariencia similar a la turba. Son livinos y sus propiedades físicas, químicas y biológicas están en los rangos indicados como ideales para emplearse como sustratos. Es interesante destacar lo vigoroso de las raíces, la cual se desarrolló por la totalidad del sustrato compuesto de vermicompost de palma de sombrero. Esto ocasionó, que el chile de agua transplantado en él produjera el mayor desarrollo de biomasa aérea y de frutos.

El compost de palma tuvo comportamiento similar. Las diferencias, respecto al vermicompost, consisten en menor capacidad de aireación (que ocasionó ligera compactación) y condiciones anaeróbicas (humedad excesiva), como resultado de la predominancia de partículas menores a 1 mm. Sin embargo, su comportamiento como sustrato en el desarrollo y producción de chile de agua no fue estadísticamente diferente ( $p < 0.05$ ) de la turba.

Definitivamente la mezcla de la palma con estiércol de cabra durante el compostaje y vermicompostaje no fue adecuada, ya que las propiedades físicas, químicas y biológicas de los sustratos obtenidos limitaron el desarrollo y productividad de chile de agua. Lo rescatable es que

las propiedades físicas y el tamaño de partículas en el vermicompost de palma y estiércol, favorecen su utilización como componente de sustratos al mezclarlo con otros materiales orgánicos que disminuyan el pH, como sería la turba.