



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL  
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL  
UNIDAD OAXACA**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y  
APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES  
(PROTECCIÓN Y PRODUCCIÓN VEGETAL)**

**Desarrollo de compostas de dos residuos lignocelulósicos y su  
caracterización como sustratos de cultivo**

**Tesis**

Que para obtener el grado de:

**Maestro en Ciencias**

Presenta:

**ARTEMIO MÉNDEZ MATÍAS**

Director de tesis

**DR. CELERINO ROBLES PÉREZ**

**SANTA CRUZ XOXOCOTLAN, OAXACA, MÉXICO.**

**DICIEMBRE 2014**



# INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO

## ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez siendo las 13:00 horas del día 19 del mes de noviembre del 2014 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR-OAXACA) para examinar la tesis de grado titulada: "Desarrollo de compostas de dos residuos lignocelulosicos y su caracterización como sustrato de cultivo".

Presentada por el alumno:

**Méndez**

Apellido paterno

**Matías**

materno

**Artemio**

nombre(s)

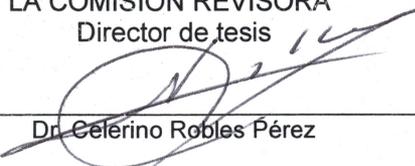
Con registro:

B	1	2	0	0	0	4
---	---	---	---	---	---	---

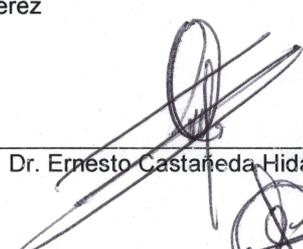
aspirante al grado de: **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES**

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

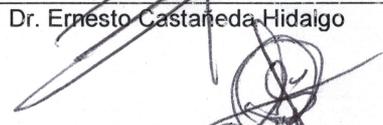
LA COMISION REVISORA  
Director de tesis

  
Dr. Celserino Robles Pérez

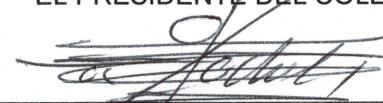
  
Dr. Jaime Ruiz Vega

  
Dr. Ernesto Castañeda Hidaigo

  
Dr. Jose Luis Chávez Serva

  
Dr. David Martínez Sánchez

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

  
Dr. José Rodolfo Martínez y Cárdenas



CENTRO INTERDISCIPLINARIO  
DE INVESTIGACION PARA EL  
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL  
C.I.I.D.I.R.  
UNIDAD OAXACA  
I.P.N.



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**CARTA CESION DE DERECHOS**

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez el día 19 del mes de noviembre del año 2014, el (la) que suscribe Artemio Méndez Matías alumno (a) del Programa de **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES** con número de registro B120004, adscrito al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Celerino Robles Pérez y cede los derechos del trabajo titulado: "Desarrollo de compostas de dos residuos lignocelulosicos y su caracterización como sustrato de cultivo", al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección **Calle Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca**, e-mail: [posgradoax@ipn.mx](mailto:posgradoax@ipn.mx) ó [amm\\_287@hotmail.com](mailto:amm_287@hotmail.com) se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Artemio Méndez Matías



CENTRO INTERDISCIPLINARIO  
DE INVESTIGACION PARA EL  
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL  
C.I.I.D.I.R.  
UNIDAD OAXACA  
I.P.N.

## Resumen

En Oaxaca se generan 932, 460.480 Ton de residuos en base húmeda provenientes de la industria del mezcal y de la caña de azúcar. Con el objetivo de brindar opciones para el reciclamiento de estos residuos, se elaboraron compostas a partir de bagazo de maguey mezcalero y bagazo de caña de azúcar con modificación de la relación Carbono/Nitrógeno mediante la adición de estiércol bovino, y la inoculación de microorganismos lignocelulósicos. Se evaluaron la velocidad de degradación y las propiedades de los productos finales, para su posterior caracterización físico-química y evaluación como sustrato en el cultivo de chile “de onza”. Los resultados muestran que la adición de estiércol bovino redujo el valor de C/N y facilitó la acción de los microorganismos inoculados en el bagazo de maguey mezcalero, al reducir el tiempo de degradación. Las compostas no mostraron fitotoxicidad y presentaron valores adecuados en los parámetros de densidad real, porosidad de aire, contracción de volumen, conductividad eléctrica, carbono orgánico total y relación carbono/nitrógeno, además de que las plantas crecidas las compostas presentaron mejor desarrollo que en el tratamiento control. Las compostas de bagazo de maguey inoculadas y bagazo de caña sin inoculo mostraron mayor número de frutos y rendimiento al final del experimento. Los resultados obtenidos en la presente investigación evidencian el potencial del uso de los residuos agroindustriales compostados como sustratos alternativos a los convencionales para la producción de hortalizas de importancia regional, como lo es el chile de onza.

## **Abstract**

In Oaxaca, 932, 460.480 ton of residues from the mezcal and sugarcane industry are generated annually. With the objective of offer options for recycling these residues, composts were developed based on maguey mezcalero bagasse and sugarcane bagasse, with its Carbon / Nitrogen ratio modified by adding bovine manure, and inoculation of lignocellulosic microorganisms. The degradation rate and the properties of the final products were recorded, for subsequent physical-chemical characterization and evaluation as a substrate in cultivation of “chile de onza” (*Capsicum* sp.). The results show that the addition of bovine manure reduced the value of C/N ratio and facilitated the action of microorganisms inoculated into maguey mezcalero bagasse by reducing the degradation time. The composts showed no phytotoxicity and have acceptable values in the parameters real density, porosity air, volume contraction, electrical conductivity, total organic carbon and C/N ratio. In addition, the plants cultivated in composts showed greater development. The two inoculated composts of maguey mezcalero bagasse and the sugarcane bagasse without inoculum showed higher fruit number and yield than the control treatment at the end of the experiment. The results obtained in this study show the potential for the use of composted agroindustrial wastes as alternative substrates for vegetable production of regional importance, such as the chile de onza.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico brindado para la realización de mis estudios de maestría.

Al Instituto Politécnico Nacional IPN y al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR IPN-Unidad Oaxaca) por el apoyo económico y académico que me fue brindado en los distintos departamentos durante la realización de mis estudios.

Expreso mi agradecimiento al Dr. Celerino Robles Pérez por haberme apoyado durante mi ingreso al CIIDIR y por la confianza depositada en mí en las diferentes actividades realizadas, por los conocimientos que me brindo y la paciencia con que dirigió el proyecto de investigación.

Al Dr Jaime Ruiz Vega, Dr. David Martínez Sánchez y al Dr. José Luis Chávez Servia por su valiosa colaboración en la realización y revisión de este proyecto, además de agradecerles por el conocimiento que compartieron dentro de las aulas que sin duda me ayudará a continuar con mi desarrollo profesional.

Dr. Ernesto Castañeda Hidalgo por el apoyo brindado durante la realización y revisión de la presente tesis.

A todos los amigos que conocí dentro y fuera del CIIDIR, con quienes compartimos experiencias y quienes con sus consejos me ayudaron a formarme durante esta etapa de mi carrera.

## **DEDICATORIA**

En especial dedico este logro a:

**Mi esposa y a mi hija**

**Mis Padres y a mi hermano**

**Mis abuelos**

**Mis tíos y tías, primos y primas y a toda la familia**

**Mis grandes amigos.**

**Gracias por todo.**

## ÍNDICE GENERAL

	Página
Resumen.....	1
Abstract.....	2
<b>Capítulo I. Introducción general.....</b>	<b>7</b>
Literatura citada .....	9
<b>Capítulo II. Compostaje de residuos agroindustriales inoculados con hongos lignocelulósicos y modificación de la relación C/N.....</b>	<b>12</b>
Resumen.....	12
Abstract.....	13
Introducción.....	13
Materiales y métodos.....	16
Resultados y discusión.....	18
Conclusiones.....	25
Literatura citada.....	25
<b>Capítulo III. Caracterización y evaluación de compostas de residuos agroindustriales como sustratos de cultivo.....</b>	<b>29</b>
Resumen.....	29
Abstract.....	30
Introducción.....	30
Materiales y métodos.....	32
Resultados y discusión.....	35
Conclusiones.....	55
Literatura citada.....	56
<b>Capítulo IV. Conclusiones generales.....</b>	<b>61</b>

## ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

	Página
<b>Capítulo II. Compostaje de residuos agroindustriales inoculados con hongos lignocelulósicos y modificación de la relación C/N</b>	
Cuadro 1. Composición inicial de bagazo de maguey mezcalero ( <i>Agave angustifolia</i> – BM), bagazo de caña de azúcar ( <i>Saccharum officinarum</i> – BC) y estiércol bovino (E), materias primas utilizadas en la evaluación del compostaje de los primeros materiales.....	16
Figura 1. Dinámica de la temperatura en el proceso de compostaje de bagazos de maguey ( <i>Agave angustifolia</i> – BM) y de caña de azúcar ( <i>Saccharum officinarum</i> – BC) inoculados con los hongos <i>Aspergillus</i> sp. (A), <i>Trichoderma harzianum</i> (Th) o sin inocular (C). Referencia, temperatura ambiental (TA).....	19
Cuadro 2. Contenido de cenizas (CEN), materia orgánica (MO) y carbono orgánico total (COT) durante 133 días de compostaje de bagazos de maguey (BM) y de caña de azúcar (BC) inoculados con <i>T. harzianum</i> (Th) y <i>Aspergillus</i> sp. (A), y sin inocular (C).....	21
Figura 2. Comportamiento del contenido de N en el compostaje (0 a 133 días) de bagazos de maguey (BM) y de caña de azúcar (BC) inoculados con <i>Aspergillus</i> sp. (A) y <i>T. harzianum</i> (Th), y sin inocular (C).....	22
Cuadro 3. Dinámica de pH, conductividad eléctrica (CE) y relación carbono/nitrógeno (R C/N) durante 133 días de compostaje de bagazos de maguey (BM) y de caña de azúcar (BC) inoculados con <i>T. harzianum</i> (Th) y <i>Aspergillus</i> sp. (A), y sin inocular (C).....	23
 <b>Capítulo III. Caracterización y evaluación de compostas de residuos agroindustriales como sustratos de cultivo</b>	
Figura 1. Ganancia de peso de lombrices en la prueba de toxicidad de los sustratos evaluados.....	35

	Página
Cuadro 1. Análisis granulométrico e Índice de grosor (Ig) en los sustratos evaluados.....	36
Cuadro 2. Densidad aparente (Da) y real (Dr), Porosidad de aire (Pa), Espacio poroso total (EPT), Capacidad de retención de agua (CRA) y Contracción de volumen (CTR) de los materiales evaluados.....	38
Figura 2. Relación entre las variable Densidad aparente (Da) y el Espacio poroso total (EPT).....	39
Cuadro 3. Valores de pH, Conductividad eléctrica (CE), Materia orgánica (MO), Carbono orgánico total (COT), Nitrógeno total (NT), Fósforo (P), Potasio (K) y Relación carbono nitrógeno (R C/N) de los materiales evaluados.....	43
Cuadro 4. Ecuaciones de regresión y coeficientes de determinación para la altura de planta y diámetro de tallo.....	46
Cuadro 5. Altura de planta (Ap), Diámetro de tallo (Dt), Número de flores (Nfl), Número de frutos (Nfr) y Rendimiento (Re) de chile de onza (Capsicum sp) durante la evaluación agronómica de sustratos de cultivo.....	47
Figura 3. Dinámica de la altura en plantas de chile de onza cultivadas en diferentes sustratos.....	48
Figura 4. Dinámica del diámetro de tallo en plantas de chile de onza cultivadas en diferentes sustratos.....	48
Figura 5. Dinámica del número de frutos en plantas de chile de onza cultivadas en sustratos.....	49
Cuadro 6. Análisis granulométrico en sustratos evaluados después de un ciclo de producción.....	51
Figura 6. Cambios en la densidad aparente (a) y densidad real (b) en sustratos evaluados después de un ciclo de cultivo.....	52
Figura 7. Cambios en el espacio poroso total (a) y en el índice granulométrico (b) en sustratos evaluados después de un ciclo de cultivo.....	52
Figura 8. Cambios en pH (a) y conductividad eléctrica (b) en sustratos evaluados después de un ciclo de cultivo.....	53

	Página
Figura 9. Cambios en el contenido de materia orgánica (a) y carbono orgánico total (b) en sustratos evaluados después de un ciclo de cultivo.....	54
Cuadro 7. Densidad aparente (Da), Densidad real (Dr), Espacio poroso total (EPT), Índice granulométrico (Ig), pH, Conductividad eléctrica (CE), Materia orgánica (MO) y Carbono orgánico total (COT) después de un ciclo de producción.....	54

## Capítulo I. Introducción general

Actualmente las industrias se desarrollan rápidamente para ofertar sus productos y satisfacer las demandas de los mercados locales, nacionales e internacionales. Sin embargo, al incrementar rendimientos, también se incrementa el volumen de desechos generados durante los procesos de producción. Tal es el caso de las agroindustrias procesadoras de maguey para la obtención de destilados y caña para obtención de azúcar, las que generan gran cantidad de residuos y problemas de contaminación ambiental debido a la acumulación y falta de manejo de esos residuos (Gordillo *te al.*, 2011).

En México el cultivo de maguey ocupa alrededor de 330,000 ha, y hasta 2011 se produjeron 1,598,632 litros de mezcal certificado (SAGARPA, 2014). En 2012, en Oaxaca se produjo el 94% del total nacional de mezcal con un volumen de 1,903,580 litros, con la tendencia de aumentar su producción debido a la alta demanda (COMERCAM, 2013).

El panorama de la producción de caña para obtener azúcar es similar, en el país se tienen contabilizadas 612,067 ha de cultivo, y hasta la semana 30 de la zafra 2013/2014 se habían procesado 44,627,281 ton de caña. El estado de Oaxaca ocupa el cuarto lugar en producción de caña con 46,904 ha, y se han procesado 2,702,784 ton de tallos (CONADESUCA, 2014).

Pernalet *et al.*, (2008) menciona que se obtienen de 250 a 400 kg de bagazo por tonelada de tallos procedo, durante la obtención del jugo de caña, y para la industria del mezcal, por cada litro de mezcal producido se generan de 15 a 20 kg de bagazo húmedo (Colunga-García, 2007).

Tomando en cuenta los datos de producción y estimaciones de residuos resultantes se observa que, en Oaxaca, con base en el volumen de mezcal producido durante 2012, la cantidad aproximada de bagazo de maguey mezcalero generado ascendió a 54,055,680 ton en base húmeda; y en la

transformación de la caña de azúcar fueron 878,404, 800 ton de bagazo, con base en la producción y procesada hasta la semana 30 de la zafra 2013/2014.

Ambos tipos de bagazos son residuos fibrosos, compuestos principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina (Flores, 2009; Sánchez, 2009; Chandler *et al.*, 2008), lo que les confieren a los bagazos, resistencia a la degradación natural y al acumularse generan olores desagradables, gases de efecto invernadero, y problemas de contaminación de suelos y aguas debido a que producen componentes de efectos biotóxicos durante su degradación (Iñiguez *et al.*, 2005; Suthar, 2010; Crespo-González *et al.*, 2013).

Con el constante crecimiento de las agroindustrias a nivel mundial, actualmente se están buscando alternativas de uso y reciclaje de los residuos lignocelulósicos generados siendo el compostaje una herramienta clave en la conversión de residuos lignocelulósicos a productos útiles. Es un proceso aerobio en el cual los microorganismos (hongos y bacterias principalmente), se encargan de transformar la materia orgánica en un producto estable y libre de patógenos debido a altas temperaturas que se generan. Durante este proceso los compuestos orgánicos recalcitrantes son degradados lentamente, y con ello se elimina fitotoxicidad (Bernal, 2009, Fornes *et al.*, 2012).

Por otro lado, el cultivo de hortalizas bajo sistemas protegidos está incrementándose; hasta 2008 Oaxaca participaba con 0.8% de la superficie nacional (Castellanos, 2011). El cultivo de hortalizas en invernadero usualmente se realiza directamente en suelo; sin embargo, las limitaciones físicas e las infestaciones con patógenos y nematodos del suelo, hacen que se vuelva difícil y costoso seguir utilizando el mismo sistema (Pineda-Pineda *et al.*, 2012). Aun cuando existe auge en uso de sustratos en la agricultura protegida, los altos costos de los sustratos importados, disponibilidad, transporte e impacto ambiental (p. ej. perlita, turba, agrolita), hacen difícil su uso por todos los agricultores (Pineda-Pineda *et al.*, 2012).

Una opción viable para disminuir el impacto ambiental provocado por la acumulación de residuos los bagazos, generados por las agroindustrias, es la producción de sustratos, con previo proceso de estabilización. Al mismo tiempo, disminuye costos de producción en hortalizas por la adquisición de sustratos, al generar sustratos de material local y ampliar las opciones sin necesidad de sustituir, los que actualmente se utilizan (Carmona *et al.*, 2012; Urrestarazu *et al.*, 2005). En este contexto, en el presente trabajo se planteó evaluar el efecto del manejo de la relación C/N e inoculación de hongos lignocelulolíticos, sobre la degradación de bagazos de agave mezcalero y de caña de azúcar para obtener un sustrato de cultivo con posible aplicación en la producción de hortalizas.

### **Literatura citada**

- Bernal, M. P., Albuquerque, J. A., Moral, R. 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresour. Technol.* 100, 5444-5453.
- Carmona, E., Moreno, M. T., Avilés, M., Ordovás, J. 2012. Use of grape marc compost as substrate for vegetable seedlings. *Scientia Horticulturae* 137, 69-74.
- Chandler, C., Ferrer, J., Mármol, Z., Páez, G., Ramones, E., Perozo, R. 2008. Efecto de la aireación en el compostaje del bagacillo de la caña de azúcar. *Multiciencias* 8 (1), 19-27.
- Colunga-García, P., Larque, A., Eguiarte, L., Zizumbo-Villarreal, D., 2007. En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves. CONABIO. México, D.F. 304 p.
- Crespo-González, M. R., González-Eguiarte, D. R., Rodríguez-Macías, R., Rendón-Salcido, L. A., del Real Laborde, J. I. & Torres-Morán, J. P. 2013. Evaluación de la composta de bagazo de agave como componente de sustratos para producir plántulas de agave azul tequilero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4(8), 1161-1173.

- COMERCAM, 2013. Vamos por el relanzamiento del mezcal: COMERCAM. (Obtenido el 5 de Mayo de 2014 en: <http://libertad-oaxaca.info/vamos-por-el-relanzamiento-del-mezcal-comercam/>).
- CONADESUCA. 2014. Reporte de avance de producción de caña y azúcar. (Obtenido el 5 de Mayo de 2014 en: <http://www.cndsca.gob.mx/>).
- Flores, R. P. A. 2009. Compostaje de dos materiales de bagazo de maguey tequilero (Agave tequilana weber) y su determinación física y fisicoquímica. Tesis de Maestría en Ciencias. CIIDIR-IPN Unidad Oaxaca. 99 Pp.
- Fornes, F., Mendoza-Hernández, D., García-de-la-Fuente, R., Abad, M., and Belda, R. M., 2012. Composting versus vermicomposting: A comparative study of organic matter evolution through straight and combined processes. *Bioresour. Technol.* 118, 296-305
- Gordillo, F., Peralta, E., Chávez, E., Contreras, V., Campuzano, A., Ruiz, O. 2011. Producción y evaluación del proceso de compostaje a partir de desechos agroindustriales de *Saccharum officinarum* (caña de azúcar). *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias* 37, 140-149.
- Íñiguez, G., Martínez, G. A., Flores, P. A., Virgen, G. 2011. Utilización de subproductos de la industria tequilera. Parte 9. Monitoreo de la evolución del compostaje de dos fuentes distintas de bagazo de agave para la obtención de un substrato para jitomate. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 27(1), 47-59.
- Pernaletе, Z., Piña, F., Suárez, M., Ferrer, A., Aiello, C. 2008. Fraccionamiento del bagazo de caña de azúcar mediante tratamiento amoniacal efecto de la humedad del bagazo y de la carga de amoníaco. *Bioagro.* 2, 3-10.

- Pineda-Pineda, J., Sánchez del Castillo, F., Ramírez-Arias, A., Castillo-González, A. M., Valdés-Aguilar, L. A., Moreno-Pérez, E. D. C. 2012. Aserrín de pino como sustrato hidropónico. I: variación en características físicas durante cinco ciclos de cultivo. Revista Chapingo serie Horticultura 18(1), 95-111.
- SAGARPA. 2014. Maguey-Mezcal. (Obtenido el 5 de mayo de 2014 en: <http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Documents/Cultivos%20Agroindustriales/Impactos%20Maguey%20Mezcal.pdf>).
- Sánchez, C., 2009. Lignocellulosic residues: Biodegradation and bioconversion by fungi. Biotechnol. Adv. 27, 185-194.
- Suthar, S., 2010. Recycling of agro-industrial sludge through vermitechnology. Ecol. Eng. 36, 1028-1036.
- Urrestarazu, M., Martínez, G.A., Salas, M. C. 2005. Almond shell waste: possible local rockwool substitute in soilless crop culture. Scientia Horticulturae 103, 453-460.

## Capítulo II. Compostaje de residuos agroindustriales inoculados con hongos lignocelulósicos y modificación de la relación C/N

Artemio Méndez-Matías<sup>1</sup>;

<sup>1</sup>Instituto Politécnico Nacional. CIIDIR-Unidad Oaxaca. Hornos 1003, Col. Nochebuena, Santa Cruz Xoxocotlán. Oaxaca, México. CP. 71230.

### Resumen

La deposición de residuos agroindustriales implica un fuerte impacto ambiental que puede ser minimizado al reciclar estos materiales mediante composteo. Este trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto de la inoculación de *Trichoderma harzianum* y *Aspergillus* sp. en el proceso de compostaje de bagazo de maguey mezcalero (BM - *Agave angustifolia* Haw.) y bagazo de caña de azúcar (BC - *Saccharum officinarum* L.), ambos con relación baja de carbono/nitrógeno (C/N). Durante el año 2012, en Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México, se desarrolló un experimento bajo un diseño completamente aleatorizado. Se monitoreó el proceso de compostaje de BM y BC, inoculados con *T. harzianum* y *Aspergillus* sp., incluyendo un control sin inocular. Para ambos residuos, la relación C/N fue modificada con la adición de estiércol bovino. La duración del experimento fue de 133 días. Se registró la temperatura de las masas en fermentación cada semana. Se tomaron muestras por triplicado para análisis los días 0, 37, 70, 103 y 133 después de iniciado el proceso. La adición de estiércol bovino fue suficiente para reducir el valor de la relación C/N y alcanzar en pocos días la fase termófila. La inoculación con *T. harzianum* y *Aspergillus* sp. redujo el tiempo de degradación del BM pero no de BC. *Aspergillus* sp. generó mayor degradación en ambos residuos. BM alcanzó valores de C/N que la califican como una composta madura a partir del día 103 del compostaje, no ocurrió así con BC.

**Palabras clave:** bagazo de maguey, bagazo de caña, compostaje, hongos lignocelulolíticos.

## Abstract

The current disposition of residues implies a strong environmental impact that can be minimized with the recycling of these materials. Composting is one of the best options to achieve this intention. The aim of this work is to evaluate the effect of the inoculation of *Trichoderma harzianum* and *Aspergillus* sp. in the composting of maguey mezcalero bagasse (BM - *Agave angustifolia* Haw.) and sugarcane bagasse (BC - *Saccharum officinarum* L.), both with reduced C/N rate. During 2012, in Santa Cruz Xoxocotlán (Oaxaca, Mexico), an experiment was performed under a completely randomized design. Composting of BM and BC was monitoring, inoculated with the fungi *T. harzianum* and *Aspergillus* sp., including a control without inoculating. For both residues, the C/N rate was modified by the addition of cattle manure. The duration of the experiment was 133 days. The temperature in the composting piles was registered every week. Triplicate samples for analysis were taken on the 0, 37, 70, 103 and 133 days after initiated the process. The addition of manure was sufficient to reduce the value of the C/N rate and to reach in a few days the thermophile phase. The inoculation with *T. harzianum* and *Aspergillus* sp. reduced the time of degradation of BM but not of BC. *Aspergillus* sp. acted with higher grade of degradation in both residues. BM reached values of C/N that qualify it as a mature compost from the 103rd of composting, BC not like that.

**Key words:** maguey bagasse, sugarcane bagasse, composting, lignocellulolytic fungi.

## Introducción

En respuesta a la generación de residuos de muy diversos orígenes y su disposición final inadecuada y contaminante, se desarrollan diversos métodos de transformación para convertirlos

en productos útiles en el menor tiempo posible (Raj, 2011; Shafawati y Siddiquee, 2013). En este sentido, se han generado diversas opciones de uso y reciclaje de residuos lignocelulósicos generados por las agroindustrias. Los residuos de la industria del vino son usados para la obtención de tartratos (Carmona et al., 2012). A partir de bagazo de maguey tequilero se han desarrollado sustratos para la producción de plántulas (Crespo-González et al., 2013), biopolímeros, enzimas y otros metabolitos (González-García, 2005). El bagazo de caña ha sido bioprocesado para la obtención de alimento para ganado (Valiño et al., 2003). Otros residuos lignocelulósicos son utilizados como materia prima para producir etanol, fabricación de papel y obtención de ácidos orgánicos, aminoácidos y vitaminas, entre otros (Sánchez, 2009).

En el sector agrícola estos materiales no pueden utilizarse de manera directa debido al alto contenido de componentes fenólicos, los que causan efectos fitotóxicos e inducen disminución del crecimiento o incluso la muerte de plantas (González-García, 2005; Aranda et al., 2008). Para que estos residuos puedan utilizarse deben someterse a un proceso de degradación para disminuir e incluso eliminar compuestos causantes de toxicidad (Aranda, 2008). El compostaje es un proceso clave para la conversión de residuos lignocelulósicos a productos útiles. Es aerobio en el que microorganismos (hongos y bacterias principalmente) se encargan de transformar la materia orgánica en un producto estable y libre de patógenos, debido a las altas temperaturas que se generan. También durante este proceso los compuestos orgánicos recalcitrantes son degradados lentamente y esto elimina riesgos de fitotoxicidad (Bernal, 2009; Fornes et al., 2012).

Durante el proceso de degradación de residuos lignocelulósicos, la disponibilidad de nutrientes para los hongos está ligada a la relación carbono/nitrógeno (C/N) y el rango considerado como óptimo para el compostaje es de 25 a 30 (Bernal et al., 2009). Una relación C/N mayor a 30 se traduce en un proceso lento y con baja disponibilidad de N, elemento necesario para que los hongos

se desarrollen y mantengan activos (Heredia-Abarca et al., 2008). Por el contrario, una relación C/N menor a 25 indica mayor contenido de N disponible, lo que provoca la producción en exceso de N inorgánico, que puede perderse por volatilización en forma de amonio o por lixiviación en forma de nitrato (Bernal et al., 2009). Los residuos agroindustriales presentan altos valores de relación C/N, y por ello su degradación natural es lenta. Si se desea acelerar el proceso de mineralización, es recomendable la adición de materiales con alto contenido de nitrógeno (Flores, 2009).

La inoculación de residuos lignocelulósicos con hongos es una opción viable tanto para disminuir el tiempo de compostaje como para mejorar las características del producto final. Diversas especies de hongos han sido identificados como organismos lignocelulolíticos, en el grupo de los basidiomicetos están: *Phanerochaete chrysosporium*, *Trametes versicolor*, *Pleurotus ostreatus*, y ascomicetos: *Aspergillus niger*, *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma reesei*, *Trichoderma pseudokoningii* y *Fusarium oxysporum*, entre otros (Sánchez, 2009; Haddadin et al., 2009; Charitha, 2012; Valenzuela y Pinochet, 2008). Los hongos son los principales degradadores de lignina y celulosa, y esa capacidad se asocia al crecimiento micelial que ayuda al hongo para transportar nutrientes escasos como nitrógeno y hierro, a grandes distancias dentro del sustrato lignocelulósico, ya que constituye su fuente de carbono (Sánchez, 2009; Haddadin et al., 2009). También requieren N en grandes cantidades, no solo para sintetizar los compuestos estructurales celulares como proteínas, ácidos nucleicos y quitina, sino también para la síntesis de enzimas necesarias para extraer los nutrimentos del medio (Heredia-Abarca et al., 2008).

El objetivo de este trabajo fue, evaluar el efecto de inoculación de *Trichoderma harzianum* Rifai y *Aspergillus* sp. en el compostaje de bagazos de maguey mezcalero (*Agave angustifolia* Haw.) y de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), ambos con relación C/N reducida.

## Materiales y métodos

Se monitoreó el compostaje de bagazos de maguey mezcalero y de caña de azúcar, mezclados ambos con estiércol bovino, en relaciones 4:1 y 5:1 (v/v), respectivamente; con el propósito de reducir la relación C/N (Bernal, 2009), y posteriormente los compostajes fueron inoculados con hongos lignocelulósicos.

Las mezclas y compostajes se hicieron en el módulo de compostaje del CIIDIR-Unidad Oaxaca en Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. Los bagazos, ambos de reciente obtención, fueron recolectados en la comunidad San Baltazar Yatzachi el Alto, municipio de San Baltazar Yatzachi el Bajo, Oaxaca. El estiércol bovino fue adquirido en el módulo de producción pecuaria del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, las características los materiales utilizados se muestra en el Cuadro 1. Las pilas de compostaje tienen una capacidad de 1.8 m<sup>3</sup> (3 x 1 x 0.6 m).

**Cuadro 1. Composición inicial de bagazo de maguey mezcalero (*Agave angustifolia* – BM), bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* – BC) y estiércol bovino (E), materias primas utilizadas en la evaluación del compostaje de los primeros materiales.**

Parámetro		BM	BC	E
CEN	%	6.15	1.99	35.7
MO	%	93.9	98.0	64.3
COT	%	52.1	54.5	35.7
NT	%	0.35	0.21	1.43
R C/N		150.6	261.9	25.1
pH		4.97	5.13	8.47
CE	dS m <sup>-1</sup>	1.43	0.84	3.97

CEN – cenizas, MO – material orgánica, COT – Carbono orgánico total, NT – Nitrógeno total, R C/N – relación Carbono/Nitrógeno, CE – conductividad eléctrica.

Los hongos agregados a la compostas fueron *Trichoderma harzianum* y *Aspergillus* sp. La fuente del primero fue un producto comercial (MICHODERMA®), cultivado mediante la técnica de siembra en placa y uso una dilución de 10<sup>-4</sup>. *Aspergillus* sp. fue obtenido de compostas en proceso,

y aislado en medio de cultivo, ambos hongos fueron aislados en medio de cultivo de agar papa y dextrosa PDA (Holguín y Mora-Delgado, 2009) y multiplicados con la técnica del arroz infectado (Posada-Flórez, 2008), producto que se agregó a las pilas de compostaje. A la composta de bagazo de agave se agregó 4.95 kg de arroz infectado con *T. harzianum* y 4.87 kg con *Aspergillus* sp. y al de bagazo de caña se adicionó 5.38 kg y 5.25 kg de arroz infectado con *T. harzianum* y *Aspergillus* sp., respectivamente.

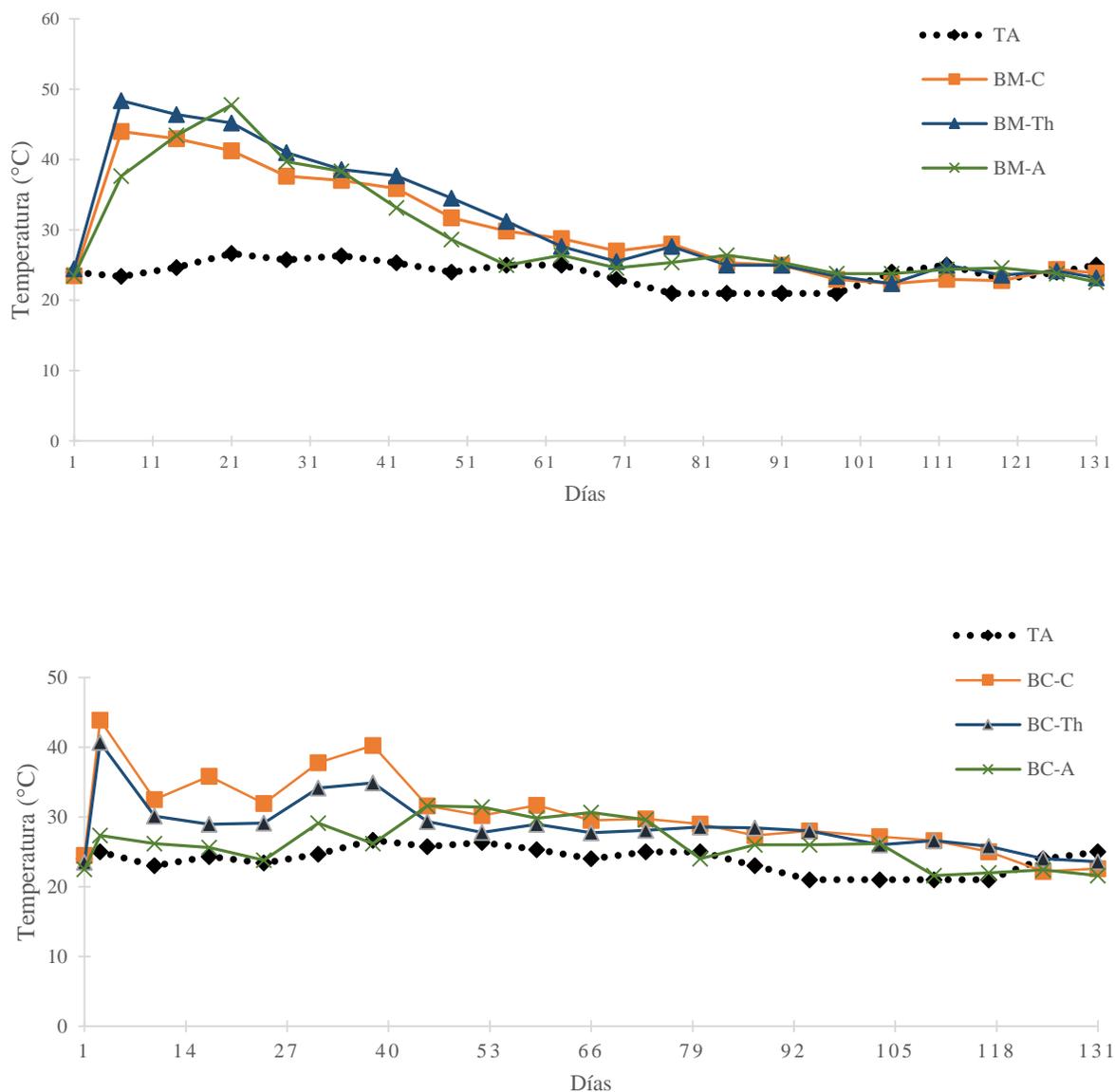
El experimento fue desarrollado bajo un diseño completamente aleatorizado, con seis tratamientos, los que están constituidos por un bloque de bagazo de maguey mezcalero inoculado con *T. harzianum* (BM-Th), con *Aspergillus* sp. (BM-A) y a manera de testigo bagazo sin inocular (BM-C), y el segundo bloque homologo al primero fueron con bagazo de caña de azúcar con las combinaciones de hongos y testigo (BC-Th, BC-A y BC-C). Cada pila de compostaje fue una unidad experimental. Se midió la temperatura semanalmente a una profundidad de 10 cm y se obtuvo el promedio de 10 mediciones en la pila. Se colectaron muestras por triplicado a 0, 37, 70, 103 y 133 días después de inicio del proceso, con el propósito de medir pH, conductividad eléctrica (CE) (Altieri y Esposito, 2010), contenido de cenizas (CEN), materia orgánica (MO) (Ansorena, 1994), carbono orgánico total (COT) el que se cuantifico mediante la fórmula propuesta por Golueke (1977), nitrógeno total (NT) (Bremner, 1965) y la relación carbono/nitrógeno (R C/N).

Los datos fueron sometidos a un análisis de la varianza, seguida de una prueba de separación de medias (Tukey  $p \leq 0.05$ ). Se utilizó el software IBM SPSS 21.

## Resultados y discusión

Las propiedades del BM utilizado son similares a los reportados por Íñiguez et al. (2011) para el bagazo de maguey tequilero. Los valores de pH, COT, NT y R C/N del BC utilizado son similares a los reportados por Chandler et al. (2008), y las propiedades del estiércol coinciden con los valores presentados por Bernal et al. (2009).

La temperatura en las pilas se incrementó rápidamente hasta alcanzar valores máximos ( $>40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) a 21 días de inicio del compostaje en mezclas de bagazo de maguey (Figura 1). En los tratamientos BM-Th y BM-A se registraron los valores más altos  $48.4$  y  $47.8^{\circ}\text{C}$  respectivamente. En bagazo de caña sin inocular, BC-C registró el mayor valor de temperatura con  $43.6^{\circ}\text{C}$  al día tres del compostaje, el tratamiento BC-Th registró valores inferiores al control (BC-C) y en el tratamiento BC-A se alcanzó una temperatura máxima de  $31.6\text{ }^{\circ}\text{C}$  a 45 días del inicio. La temperatura es un indicador de la actividad microbiana en el proceso de compostaje. En este trabajo, las temperaturas se elevaron inmediatamente propiciándose la fase termófila en los primeros 14 días de iniciado el compostaje, esto se atribuye a que el tamaño de partícula de los bagazos permitió simultáneamente la difusión del oxígeno y la retención de humedad en un nivel adecuado para promover la actividad microbiana (Flores, 2009). Tortarolo et al. (2008) señalan que el factor temperatura contribuye a la descomposición de residuos y sanidad de la composta, afirman que los rangos de maximizan la biodegradación. En las pilas con bagazo de maguey (BM) se alcanzaron temperaturas entre  $45$  y  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$  pero en bagazo de caña (BC) la temperatura máxima fue inferior a  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ . En el compostaje de residuos de olivas, Haddadin et al. (2009) señalan que la máxima degradación de compuestos lignocelulósicos aumenta conforme aumenta la temperatura, aunque este factor también puede ser una limitante para organismos inoculados, ya que a ciertos niveles de temperatura puede disminuir su actividad enzimática (Tuomela et al., 2000).



**Figura 1. Dinámica de la temperatura en el proceso de compostaje de bagazos de maguey (*Agave angustifolia* – BM) y de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* – BC) inoculados con los hongos *Aspergillus* sp. (A), *Trichoderma harzianum* (Th) o sin inocular (C). Referencia, temperatura ambiental (TA).**

En los análisis de varianza de contenido de cenizas (CEN), materia orgánica (MO) y carbono orgánico total (COT), se detectaron diferencias ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos evaluados a 0, 37, 70, 103 y 131 días después del inicio del compostaje (ddic). Así, el Cuadro 2 se presentan las diferencias significativas entre tratamientos; en bagazo de maguey (BM), en CEN se registraron diferencias

solo a 37 y 133 ddic, aunque la adición de hongos no supero al testigo a 133 ddic. En compostaje con bagazo de caña de azúcar (BC), hubo diferencias entre tratamientos en CEN a partir de 70 ddic, aunque siempre fue mayor con *Aspergillus* sp. pero no difiere del testigo al final del proceso (133 ddic). Iñiguez et al. (2011) reportan valores finales de 11.8 en 18.6% de cenizas de compostas de bagazo de maguey tequilero con adición de urea y vinazas. Los altos valores obtenidos en este trabajo se deben a la adición de estiércol con alto contenido de cenizas y a la disminución de la materia orgánica por efecto de su mineralización (Haddadin et al., 2009). El contenido de MO y COT en compostaje de BM decrecen entre 22 y 29%, de inicio a 133 ddic. En BM, en el tratamiento de adición de *T. harzianum* (Th) se registraron los mayores valores finales de MO y supero al testigo y la adición de *Asperillus* sp. (A). En BC no hay diferencias significativas en el contenido de MO y COT hasta 70 ddic, y a 133 ddic nuevamente la adición de *T. harzianum* (Th) genero mayor contenido de MO y COT. Charitha y Kumar (2012) mencionan que la actividad enzimática de la celulasa es alta en cepas de *Aspergillus* sp. y *Trichoderma* sp. Tuomela et al. (2000) y Sánchez (2009) mencionan que el bagazo de caña tiene altos porcentaje de celulosa (32-44%), lo que puede explicar que con *Aspergillus* sp. se registre un mayor porcentaje de degradación en el bagazo de caña. Los hongos del género *Aspergillus* sp. son termotolerantes, pudiendo resistir de 52-55 °C (Tuomela et al., 2000), lo que lleva a suponer que, al descender la temperatura de la fase termófila, este sea el hongo dominante durante el resto del proceso de compostaje (Tuomela et al., 2000). Contrariamente, *Trichoderma* tiene una temperatura óptima para la actividad degradadora de 30°C (Haddadin et al., 2009), factor que explicaría la menor actividad de mineralización de *Trichoderma*.

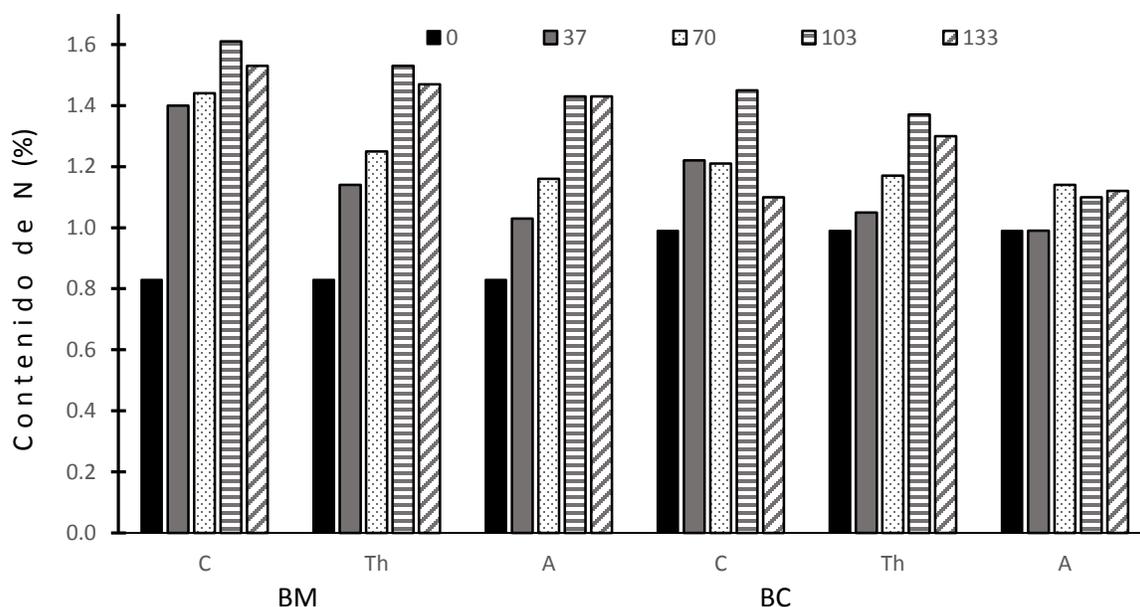
**Cuadro 2. Contenido de cenizas (CEN), materia orgánica (MO) y carbono orgánico total (COT) durante 133 días de compostaje de bagazos de maguey (BM) y de caña de azúcar (BC) inoculados con *T. harzianum* (Th) y *Aspergillus* sp. (A), y sin inocular (C).**

Días después de iniciar el compostaje (ddic)	Contenido de cenizas (CEN, %)			Materia orgánica (MO, %)			Carbono orgánico total (COT, %)		
	Th	A	C	Th	A	C	Th	A	C
<i>Compostaje de bagazo de maguey (BM):</i>									
0	17.2 a	17.2 a	17.2 a	82.8 a	82.8 a	82.8 a	46.0 a	46.0 a	46.0 a
37	26.9 b	33.1 a	25.2 b	73.1 a	66.9 b	74.8 a	40.6 a	37.2 b	41.6 a
70	29.9 a	36.5 a	33.6 a	70.0 a	63.5 a	66.4 a	38.9 a	35.3 a	36.9 a
103	33.2 a	36.5 a	36.6 a	66.8 a	63.5 a	63.4 a	37.1 a	35.3 a	35.2 a
133	35.8 b	41.3 a	39.6 a	64.2 a	58.7 b	60.4 b	35.7 a	32.6 b	33.6 b
<i>Compostaje de bagazo de caña (BC):</i>									
0	9.8 a	9.8 a	9.8 a	90.2 a	90.2 a	90.2 a	50.1 a	50.1 a	50.1 a
37	19.5 a	20.9 a	17.6 a	80.5 a	79.1 a	82.4 a	44.7 a	43.9 a	45.8 a
70	22.1 b	37.1 a	24.6 b	77.9 a	62.9 a	75.4 a	43.3 a	34.9 a	41.9 a
103	22.4 b	38.8 a	25.5 b	77.6 a	61.2 b	74.5 a	43.1 a	34.0 b	41.4 a
133	28.6 b	38.2 a	35.3 ab	71.4 a	61.8 b	64.7 ab	39.7 a	34.3 b	36.0 ab

Valores con la misma letra, en cada fila, no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

En el contenido de NT se registraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos para todas las fechas de muestreo. Hay un aumento constante en el contenido de nitrógeno total (NT), desde el inicio hasta 103 ddic en los tratamientos en BM, con una disminución final en el testigo (C) y se adición de *T. harzianum* (Th) (Figura 2). En compostaje de caña (BC) se registran fluctuaciones inconsistentes en el testigo (C), progresivas con *T. arzianum* (Th) y bi-etápico con *Aspergillus* sp. (A); aunque, el valor final fue superior al valor inicial en todos los caso. Al inocular residuos de cosecha con diferentes especies de *Trichoderma*, Sharma et al. (2012) reportaron incrementos en el contenido de N, y lo que atribuyen a la muerte y degradación de microorganismos que lo asimilaron. Raj y Antil (2011) mencionan que al inicio del compostaje hay un incremento de N amoniacal y después de 60 días hay una rápida conversión a N nítrico y el contenido aumenta conforme pasa la fase termófila del compostaje. También señalan que en el compostaje de residuos agroindustriales los procesos de amonificación y nitrificación son acelerados debido a que se generan condiciones de mayor aireación, favoreciendo la actividad de

los microorganismos en la inmovilización de  $\text{NH}_3$ , lo que evita su pérdida por volatilización. Los resultados obtenidos en esta investigación muestran relación con lo descrito por Raj y Antil (2011) por tratarse de residuos lignocelulósicos con bajo contenido de N.



**Figura 2.** Comportamiento del contenido de N en el compostaje (0 a 133 días) de bagazos de maguey (BM) y de caña de azúcar (BC) inoculados con *Aspergillus sp.* (A) y *T. harzianum* (Th), y sin inocular (C).

Durante el compostaje de bagazo de maguey (BM), se determinaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos en conductividad eléctrica (CE), pH y relación carbono/nitrógeno (R C/N) a partir de 37 días de compostaje en BM se registran diferencias significativas a partir del día 70, con un decremento constante, el tratamiento C con la mayor CE. En BC hay diferencias significativas hasta el día 133, con el tratamiento A con el mayor valor (Cuadro 3). Flores (2009) reporta incrementos en CE a lo largo del proceso de compostaje de bagazo de maguey tequilero, con valores finales de 11.9 a 14.4  $\text{dS m}^{-1}$ . Mazuela y Urrestarazu (2005) reportan valores de 22.9

a 34.3 dS m<sup>-1</sup> en composta generada de residuos hortícolas. El comportamiento observado en BC coincide con Gordillo et al. (2011), quienes reportan un incremento en la fase inicial debido a la mineralización de la materia orgánica, seguido de un decremento provocado por la lixiviación de metabolitos y residuos, por ultimo una fase de maduración con disminución de la CE, indicando el final del proceso.

**Cuadro 3. Dinámica de pH, conductividad eléctrica (CE) y relación carbono/nitrógeno (R C/N) durante 133 días de compostaje de bagazos de maguey (BM) y de caña de azúcar (BC) inoculados con *T. harzianum* (Th) y *Aspergillus* sp. (A), y sin inocular (C).**

Días después del inicio de compostaje (ddic)	Bagazo de maguey (BM)			Bagazo de caña (BC)		
	Th	A	C	Th	A	C
	----- pH -----					
<b>0</b>	6.89 a	6.89 a	6.89 a	7.92 a	7.92 a	7.92 a
<b>37</b>	9.45 b	9.78 a	9.57 ab	9.04 a	8.01 b	9.01 a
<b>70</b>	8.54 b	9.46 a	9.62 a	9.22 a	8.62 b	8.52 b
<b>103</b>	9.29 a	9.03 b	9.21 ab	9.02 a	8.84 a	8.94 a
<b>133</b>	9.24 a	9.13 a	9.11 a	9.00 a	8.52 b	8.66 b
	----- CE (dS m <sup>-1</sup> ) -----					
<b>0</b>	4.19 a	4.19 a	4.19 a	2.49 a	2.49 a	2.49 a
<b>37</b>	2.78 ab	1.79 a	2.88 a	2.86 a	2.60 a	3.41 a
<b>70</b>	2.14 b	1.62 c	2.88 a	2.51 a	1.81 a	2.49 a
<b>103</b>	1.93 b	1.44 a	2.57 a	2.68 a	1.80 b	2.37 ab
<b>133</b>	1.31 b	1.31 b	2.22 a	1.45 b	2.42 a	1.39 b
	----- R C/N -----					
<b>0</b>	55.4 a	55.4 a	55.4 a	50.6 a	50.6 a	50.6 a
<b>37</b>	35.6 a	36.1 a	29.7 b	42.7 a	44.4 a	37.4 a
<b>70</b>	31.1 a	30.4 ab	25.6 b	37.0 a	30.6 a	34.7 a
<b>103</b>	24.3 a	24.7 a	21.9 a	31.5 a	30.9 a	28.6 a
<b>133</b>	24.3 a	22.8 b	22.0 b	30.5 a	30.7 a	32.6 a

Valores con la misma letra, en cada renglón, no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

La adición de estiércol incrementó el valor de pH de los residuos (Cuadro 3). En BM se registran diferencias significativas únicamente en el día 70, en tanto que en BC hay diferencias significativas en las fechas 37, 70 y 133. Todos los tratamientos presentan un incremento al inicio del proceso. El tratamiento Th tiene el mayor valor numérico de pH en ambos residuos al final de la evaluación. Boulter-Bitser et al. (2006) reportan incrementos de pH, alcanzando valores de 8.4. Atribuyen este aumento a la mineralización de los compuestos orgánicos y degradación de los ácidos orgánicos.

El manejo de la aireación es uno de los factores que modifica los valores de pH, a mayor concentración de oxígeno se favorece la acción de los microorganismos en la degradación de los ácidos orgánicos, lo cual aumenta el pH (Íñiguez et al., 2011). Una explicación al comportamiento registrado por los tratamientos A, con mayor nivel de mineralización comparados con Th, es que el rango óptimo de pH para la actividad enzimática de *T. harzianum* es de 4.0 a 4.5 (Haddadin et al., 2009). Los resultados obtenidos en este trabajo contrastan con los reportados por Zayed y Abdel-Motal (2005), quienes al compostar bagazo de caña de azúcar inoculado con *T. viride* y *A. niger* observaron reducciones en el pH, lo cual puede atribuirse a que *A. niger* es un organismo altamente acidificante del medio por su capacidad de sintetizar ácidos orgánicos.

Los valores de R C/N al inicio del proceso son de 55.4 y 50.6 en BM y BC, respectivamente, a causa de la adición de estiércol bovino (Cuadro 3). Hay efectos significativos de los tratamientos en BM, pero no en BC. Con el tratamiento C en BM se registró la mayor reducción total. En los tratamientos inoculados, A promovió una mayor reducción de la R C/N que Th (58.9 y 56.2%). En BC se observó mayor reducción de la R C/N con los tratamiento con inoculación (39.7% para *T. harzianum* y 39.3% para *Aspergillus* sp.). Zayed y Abdel-Motal (2005) reportan un valor de R C/N de 40 después de 105 días de compostaje de bagazo de caña con inoculación de *A. niger* + *T. viride*. Con la adición de residuos de granja se reporta un valor de 25 después de 90 días de procesamiento. En BC se registran valores por encima del rango considerado como óptimo (18-20) por Íñiguez et al. (2011). Raj y Antil (2011) mencionan que en el compostaje de residuos agroindustriales el decremento en la R C/N es más rápido que en los residuos de granja. Íñiguez et al. (2011) reportan valores finales de R C/N de 14.5 y 16.2, los cuales indican un alto grado de estabilidad. La R C/N se utiliza como indicador de madurez y estabilidad en compostas, y los valores que se utilizan como referencia van de 10 a 25 (Íñiguez et al., 2011, Raj y Antil, 2011). En

este trabajo BM, con cualquiera de sus tratamientos, tienen valores de 21.9 a 24.3, los cuales ya se pueden considerar estables. Los valores en BC son mayores que el rango señalado, ello debido los bajos contenidos de N inicial en este residuo. Flores (2009) menciona que altos valores de R C/N pueden repercutir en la inmovilización del N debido a que, al haber altos contenidos de C en la composta, la acción de los microorganismos continúa y estos requieren de N para su desarrollo.

## CONCLUSIONES

La adición de estiércol bovino en las proporciones utilizadas en este trabajo redujo el valor de la relación C/N a un nivel apropiado para alcanzar en pocos días la fase termófila del compostaje. La utilización de los hongos lignocelulolíticos *Trichoderma harzianum* y *Aspergillus* sp. disminuyó el tiempo de degradación del bagazo de maguey mezcalero, pero no del bagazo de caña. *Aspergillus* sp. actuó con mayor grado de degradación en ambos bagazos evaluados, lo cual se vio reflejado en los menores valores de materia orgánica y carbono orgánico total. El bagazo de maguey mezcalero, con adición de estiércol bovino e inoculado con cualquiera de los dos hongos evaluados, alcanzó valores de la relación C/N que lo valoran como una composta madura a partir del día 103 del compostaje. Después de 133 días no ocurre lo mismo para el bagazo de caña de azúcar, por lo cual se valora este producto como una composta inmadura.

## LITERATURA CITADA

- Altieri, R. and Esposito, A. 2012. Evaluation of the fertilizing effect of olive waste mill compost in short-term crops. *Int. Biodeter. Biodegrad.* 64:124-128.
- Ansorena, M. 1994. *Sustratos, propiedades y caracterización*. Editorial Mundi-Prensa. Madrid. 172 p.
- Aranda, E.; Sampedro, I.; Arriaga, C.; Díaz, R.; García, M.; Ocampo, J. A. y García-Romera, I. 2008. Transformación de los residuos procedentes del olivo mediante cepas fúngicas. In:

- Tópicos sobre diversidad, ecología y usos de los hongos microscópicos. G. Heredia (Ed). Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED) e Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Veracruz, México. 294-311 pp.
- Bernal, M.P.; Albuquerque, J.A. and Moral, R. 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Biores. Technol.* 100:5444-5453.
- Boulter-Bitzer, J.I.; Trevors, J.T. and Boland, G.J. 2006. A polyphasic approach for assessing maturity and stability in compost suppression of plant pathogens. *Appl. Soil. Ecol.* 34:65-81.
- Bremner, J.M. 1965. Inorganic forms of nitrogen. In: *Methods of soil analysis. Part 2.* C.A. Black (Ed). Agronomy Monographs Number 9. American Soil Association (ASA). Madison, WI. 1179-1237 pp.
- Carmona, E.; Moreno, M.T.; Avilés, M. and Ordovás, J. 2012. Use of grape marc compost as substrate for vegetable seedlings. *Scientia Horticulturae* 137:69-74.
- Chandler, C.; Ferrer, J.; Mármol, Z.; Páez, G.; Ramones, E. y Perozo, R. 2008. Efecto de la aireación en el compostaje del bagacillo de la caña de azúcar. *Multiciencias.* 8(1):19-27.
- Charitha, M. and Kumar, M.S. 2012. Isolation and screening of lignocellulose hydrolytic saprophytic fungi from dairy manure soil. *Ann. Biol. Res.* 3(2):1145-1152
- Crespo-González, M.R.; González-Eguiarte, D.R.; Rodríguez-Macías, R.; Rendón-Salcido, L.A.; del Real-Laborde, J.I. y Torres-Morán, J.P. 2013. Evaluación de la composta de bagazo de agave como componente de sustratos para producir plántulas de agave azul tequilero. *Rev. Mex. C. Agric.* 4(8):1161-1173.
- Flores, R.P.A. 2009. Compostaje de dos materiales de bagazo de maguey tequilero (*Agave tequilana* Weber) y su determinación física y fisicoquímica. Tesis de Maestría en Ciencias. Instituto Politécnico Nacional-CIIDIR-Unidad Oaxaca. 99 p.
- Fornes, F.; Mendoza-Hernández, D.; García-de la Fuente, R.; Abad, M. and Belda, R.M. 2012. Composting versus vermicomposting: a comparative study of organic matter evolution through straight and combined processes. *Biores. Technol.* 118:296-305.
- Golueke, C.G. 1977. *Biological reclamation of solid wastes.* Rodale Press. Emmaus, PA. 272 p.
- González-García, Y.; González-Reynoso, O. y Nungaray-Arellano, J. 2005. Potencial del bagazo de agave tequilero para la producción de biopolímeros y carbohidrasas por bacterias celulolíticas y para la obtención de compuestos fenólicos. *e-Gnosis* (3) <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=73000314>. Consultado el 18 de abril de 2014.
- Gordillo, F.; Peralta, E.; Chávez, E.; Contreras, V.; Campuzano, A. y Ruiz, O. 2011. Producción

- y evaluación del proceso de compostaje a partir de desechos agroindustriales de *Saccharum officinarum* (caña de azúcar). Rev. Inv. Agropec. 37:140-149.
- Haddadin, M.S.Y.; Haddadin, J.; Arabiyat, O.I. and Butros, H. 2009. Biological conversion of olive pomace into compost by using *Trichoderma harzianum* and *Phanerochaete chrysosporium*. Biores. Technol. 100:4773-4782.
- Heredia-Abarca, G.; Castañeda-Ruíz, R. y Cappello, S. 2008. Biología e importancia de los hongos microscópicos filamentosos. In: Tópicos sobre diversidad, ecología y usos de los hongos microscópicos. G. Heredia (Ed). Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED) e Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Veracruz, México. 5-26 pp.
- Íñiguez, G.; Martínez, G.A.; Flores, P.A. y Virgen, G. 2011. Utilización de subproductos de la industria tequilera. Parte 9. Monitoreo de la evolución del compostaje de dos fuentes distintas de bagazo de agave para la obtención de un sustrato para jitomate. Rev. Int. Contam. Amb. 27(1):47-59.
- Mazuela, P. y Urrestarazu, M. 2005. Evaluación agronómica de un cultivo de melón utilizando compost como sustrato en cultivo sin suelo. IDESIA. 23(2):39-45.
- Posada-Flórez, F.J. 2008. Production of *Beauveria bassiana* fungal spores on rice to control the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*, in Colombia. J. Insect Sci. 8(41):1-13.
- Raj, D. and Antil, R. S. 2011. Evaluation of maturity and stability parameters of compost prepared from agro-industrial wastes. Biores. Technol. 102:2868-2873.
- Sánchez, C. 2009. Lignocellulosic residues: Biodegradation and bioconversion by fungi. Biotech. Adv. 27:185-194.
- Sharma, B.L.; Singh, S.P. and Sharma, M.L. 2012. Bio-degradation of crop residues by *Trichoderma* species vis-à-vis nutrient quality of prepared compost. Sugar Tech. 14(2):174-180.
- Tortarolo, M.F.; Pereda, M.; Palma, M. y Arrigo, N.M. 2008. Influencia de la inoculación de microorganismos sobre la temperatura en el proceso de compostaje. C. Suelo. 26(1):41-50.
- Tuomela, M.; Vikman, M.; Hatakka, A. and Itavaara, M. 2000. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. Biores. Technol. 72:169-183.
- Valenzuela, F. y Pinochet, D. 2008. Biodegradación de paja de trigo mediante cepas fúngicas. In: Tópicos sobre diversidad, ecología y usos de los hongos microscópicos. G. Heredia (Ed). Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED) e Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Veracruz, México. 314-325 pp.

- Valiño, E.; Elías, A.; Torres-Carrasco, T. y Albelo, N. 2004. Mejoramiento de la composición del bagazo de caña de azúcar por la cepa *Trichoderma viride* M5-2 en un biorreactor de fermentación en estado sólido Rev. Cub. C. Agric. 45(3):267-273.
- Zayed, G. and Abdel-Motal, H. 2005. Bio-production of compost with low pH and high soluble phosphorus from sugar cane bagasse enriched with rock phosphate. World J. Microbiol. Biotech. 21:747-752.

## Capítulo II. Caracterización y evaluación de compostas de residuos agroindustriales como sustratos de cultivo

Artemio Méndez-Matías<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Politécnico Nacional. CIIDIR-Unidad Oaxaca. Hornos 1003, Col. Nochebuena, Santa Cruz Xoxocotlán. Oaxaca, México. CP. 71230.

### Resumen

El uso de sustratos en agricultura protegida ha ido incrementándose para evitar las limitantes que se presentan en el cultivo en suelo. Debido al alto costo de los sustratos convencionales, es necesaria la búsqueda y evaluación de materiales alternativos. Esta investigación tiene como objetivo caracterizar y evaluar compostas de residuos agroindustriales como sustratos en el cultivo de “chile de onza” (*Capsicum* sp.). Durante el año 2013, en Santa Cruz Xoxocotlán (Oaxaca, México), bajo un diseño completamente aleatorizado, se realizaron pruebas de toxicidad y caracterizaron físico-química de cinco compostas y dos sustratos convencionales. La evaluación agronómica tuvo una duración de 104 días, registrando datos de crecimiento a los 4, 12, 19, 28, 37, 47, 52, 65, 72, 79, 89, 97 y 104 días después del trasplante, en cinco plantas por tratamiento. Las compostas no presentaron toxicidad. La densidad real, porosidad de aire, contracción de volumen, conductividad eléctrica, carbono orgánico total y relación carbono/nitrógeno presentaron valores de dentro de los rangos recomendados. La evaluación agronómica mostró un desarrollo favorable del cultivo de chile de onza, siendo las compostas de bagazo de maguey inoculadas con *Trichoderma harzianum* y *Aspergillus* sp., y de bagazo de caña de azúcar sin inocular, en las que se registraron el mayor número de frutos y rendimiento por planta.

**Palabras clave:** Composta, sustrato, caracterización, chile de onza.

## Abstract

The use of substrates in protected agriculture has been increasing in order to avoid the limitations presented in soil cultivation. Because of the cost of conventional substrates, research and evaluation of alternative materials is necessary. The objective of this research is to characterize and to evaluate agro-industrial waste composts as substrates in growing of “chile de onza” (*Capsicum* sp.). During 2013, in Santa Cruz Xoxocotlán (Oaxaca, Mexico), under a completely randomized design, toxicity tests were performed and the physico-chemical properties of five compost and two conventional substrates were measured. The agronomic evaluation was realized for 104 days, taking data at 4, 12, 19, 28, 37, 47, 52, 65, 72, 79, 89, 97 and 104 days after transplantation in five plants per treatment. The composts did not present toxicity. The particle density, porosity air, volume contraction, electrical conductivity, total organic carbon and carbon / nitrogen ratio values were within recommended ranges. The agronomic evaluation showed a correct development process of the plants of chile de onza, being the maguey mezcalero bagasse compost inoculated with *Trichoderma harzianum* and *Aspergillus* sp., and sugarcane bagasse compost without inoculation, which showed the highest number of fruits and yield per plant.

**Key words:** Compost, substrate, characterization, chile de onza.

## INTRODUCCIÓN

La producción en invernadero está incrementándose de manera constante, en ciertas especies hortícola es atractiva por la calidad y alta productividad que se genera (Mazuela y Urrestarazu, 2005). El cultivo en invernadero se realiza directamente en suelo, en la mayoría de los casos; sin

embargo, tiene limitaciones edáficas asociadas con profundidad de crecimiento radicular, compactación, textura, pedregosidad, salinidad, alcalinidad, acidez, inmovilización y fijación nutrimental y sobre todo infestaciones con patógenos y nematodos, lo que hacen difícil y costoso seguir utilizando el mismo sistema, y alternativamente se propone el cultivo en sustratos (Pineda-Pineda *et al.*, 2012).

El término "sustrato" se aplica en horticultura a todo material sólido distinto del suelo *in situ*, 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, desempeñando, por tanto, un papel de soporte para la planta. El sustrato puede intervenir o no en el proceso complejo de nutrición mineral para la planta (Urrestarazu, 2000).

Los sustratos más utilizados en la actualidad son turba, perlita, fibra de coco, lana de roca y vermiculita, entre otros, pero importación al lugar de uso incrementa costo de producción debido a la adquisición y transporte. Además del impacto negativo provocado al ambiente como consecuencia de la extracción de materiales orgánicos o a acumulación de desechos (Abad *et al.*, 2004). Urrestarazu *et al.* (2005) señalan la importancia de evaluar los residuos agroindustriales locales como sustratos de cultivo, con el objetivo de reducir el impacto ambiental generado porque se generan menos desechos acumulados y evita la utilización de sustratos de importación. Por lo que, antes de proponer el uso de un material de desecho como sustrato, es indispensable su descripción y caracterización de uso para tener un mayor conocimiento sobre sus propiedades y cómo hacer adecuaciones y/o correcciones para obtener resultados favorables en el cultivo (Abad *et al.*, 2005).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto toxico de compostas de bagazo de maguey mezcalero (*Agave angustifolia* Haw.) y bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) sobre toxicidad en lombriz (*Eisenia fétida*) y sus como sustratos de cultivo para chile de onza (*Capsicum annum* L.).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### ***Evaluación de toxicidad de sustratos***

Los sustrato formados con el compostaje (133 días) de bagazos de maguey mezcalero y de caña de azúcar, ambos con la adición de estiércol de bovinos, más la adición de *T. harzianum* y *Aspergillus* sp. conformaron los siguientes sustratos o tratamientos a evaluar: bagazo de maguey mezcalero sin inóculo (T1) e inoculado con *T. harzianum* (T2) o con *Aspergillus* sp. (T3); y compostas de bagazo de caña sin inóculo (T4) e inoculado con *T. harzianum* (T5).

En cada sustrato se registraron las caracterización física de granulometría con tamices de 2.0, 1.5, 1.0, 0.5 y 0.25 mm en una muestra de 100 g de sustrato y se determinó el índice de grosor (Ig), densidad aparente (Da), densidad real (Dr), espacio poroso total (EPT), porosidad de aire (Pa), capacidad de retención de agua (CRA) y contracción de volumen (CTR) mediante las técnicas propuestas por Abad *et al.* (1993) y Ansorena (1994). También se evaluó pH y conductividad eléctrica (CE) (Altieri y Esposito, 2012), contenido de materia orgánica (MO) (Ansorena, 1994), y carbono orgánico total (COT) mediante la fórmula propuesta por Golueke (1977). Complementariamente se evaluó nitrógeno total (NT) (Bremner, 1965), relación carbono/nitrógeno (R C/N), fósforo total (P) (Watanabe y Olsen, 1965) y potasio total (K) (Peech, 1947). Se usaron tres repeticiones por composta caracterizada en un arreglo completamente aleatorizado.

La prueba de toxicidad de sustratos se desarrolló en el laboratorio de suelos del CIIDIR Unidad Oaxaca del IPN localizadas en Santa Cruz Xoxocotlán, México. Para evaluar el efecto tóxico de sustrato se usó lombriz roja californiana (*Eisenia fétida*), donde se evaluó la respuesta en crecimiento; a través de variaciones de peso de 10 lombrices depositadas en recipientes con 500 g de cada composta con 45 a 50% de humedad y cubiertos con tela tipo organza. Después de 15 y 28 días de colocación de las lombrices, se cuantificó la mortalidad y peso de lombrices por recipiente (EPA, 1996).

### ***Evaluación de sustratos como medios de cultivo***

Se evaluó el efecto de los sustratos en el crecimiento y desarrollo del cultivo de chile de onza (*Capsicum annuum* L.), variedad donada por un agricultor de la comunidad de San Baltazar Yatzachi el Alto, municipio de San Baltazar Yatzachi el Bajo, Oaxaca. Los tratamientos de sustratos se integraron de la siguiente manera: que fueron: compostas de bagazo de maguey mezcalero sin inóculo (T1) e inoculado con *T. harzianum* (T2) y *Aspergillus* sp. (T3); compostas de bagazo de caña sin inóculo (T4) e inoculado con *T. harzianum* (T5); un testigo se usó común para la producción de plántulas de hortalizas, integrado por una mezcla de turba: perlita 3:1 v/v (TP); y un testigo solo perlita sola (P). Todos bajo una distribución completamente aleatoria con cinco repeticiones.

En ensayo se condujo en invernadero metálico tipo semicilíndrico con protección acrílica y circulación forzada de aire dentro del CIIDIR Unidad Oaxaca del IPN, donde en cada maceta de 4.58 L, se trasplantó una planta de chile y se hizo un arreglo en hileras dobles separadas a 1.80 m y 0.35 m entre macetas. El tutorio con rafia se realizó por hileras de plantas. La fertilización por goteo se hizo con la formulación de Steiner (1984):  $\text{NO}_3^-$ , 12;  $\text{PO}_4^{4-}$ , 1;  $\text{SO}_4^{4-}$ , 7;  $\text{Ca}^{+2}$ , 9;  $\text{K}^+$ , 7;  $\text{Mg}^{+2}$ ,

4 meq L<sup>-1</sup>, e inició a 19 días después del trasplante (ddt). En la primera fase de desarrollo del cultivo, se programaron cuatro riegos cada tres horas por día con una duración de dos minutos por riego, y a partir de 72 ddt se incrementó a seis riegos diarios cada dos horas con duración de cuatro minutos. También, se hicieron dos aplicaciones de abamectina (Abamectina®) para controlar ácaros y mosquita blanca. Durante el crecimiento y desarrollo del cultivo se registró altura de planta (Ap), diámetro de tallo (Dt), número de flores (Nfl) y número de frutos (Nfr) a 4, 12, 19, 28, 37, 47, 52, 65, 72, 79, 89, 97 y 104 días después del trasplante (ddt). El rendimiento (Re) de frutos por planta y tratamiento se registró a 104 ddt.

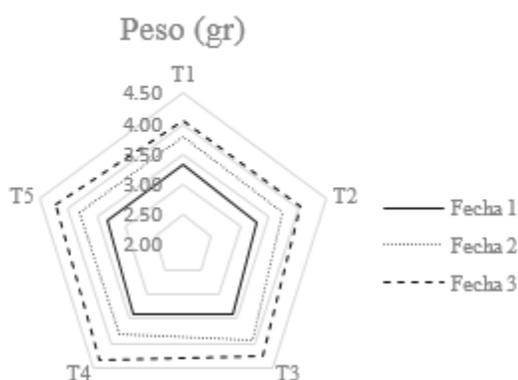
Con el objetivo de cuantificar la degradación o cambios en la estructura física y química de los sustratos evaluados después del cultivo, se extrajeron las plantas y raíces, y se evaluó granulometría, índice de grosor (Ig), densidad aparente (Da), densidad real (Dr), espacio poroso total (EPT), pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO) y carbono orgánico total (COT), con las mismas técnicas descriptivas enunciadas previamente.

### ***Análisis estadístico***

Se evaluaron 5 repeticiones por tratamiento. Los resultados fueron sometidos a un análisis de varianza y a una prueba de separación de medias (Tukey  $p \leq 0.05$ ). Se utilizó el software IBM SPSS 21.

## Resultados y discusión

En la prueba de toxicidad se observaron diferencias significativas en el número de lombrices en T2 debido a que aumentó el número de lombrices en el sustrato. La Figura 1 muestra la ganancia de peso de las lombrices en las tres fechas de muestreo.



**Figura 1. Ganancia de peso de lombrices en la prueba de toxicidad de los sustratos evaluados.**

Composta de bagazo de maguey mezcalero sin inóculo (T1), inoculada con *T. harzianum* (T2) y *Aspergillus* sp. (T3) y composta de bagazo de caña sin inóculo (T4) e inoculada con *T. harzianum* (T5).

En la metodología de la EPA (1996) menciona que el primer indicio de toxicidad de algún material se refleja a través de la mortandad y en la pérdida de peso de las lombrices, lo cual no sucedió en el presente experimento al observarse una ganancia de peso en todos los tratamientos.

En la **Granulometría** se observaron diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 1). En los sustratos TP y P presentaron mayor porcentaje de partículas finas (< 0.25). Los sustratos con mayor contenido de partículas medianas (0.25-2.0 mm) fueron T1 y T3 (50.77 y 60.84 % respectivamente) y los sustratos T2, T5 y P contienen más del 50% de partículas mayores a 2 mm. Martínez *et al.* (2013) reportan una distribución de 3.81, 75.69 y 20.5% entre partículas finas, medianas y gruesas de composta de bagazo de agave. López-Baltazar *et al.* (2013) observaron un

contenido de partículas medianas superior al 60% en diferentes compostas de bagazo de agave, mientras que López (2011) reportó contenidos de 63.76 y 51.87% en compostas de paja de trigo y bagazo de caña. Los sustratos T1, T3 y TP presentaron los valores más cercanos al recomendado por Abad *et al.*, (1993) al presentar mayor porcentaje de partículas de 0.25-2.50 mm, en el cual hay un balance adecuado entre las relaciones agua-aire. Un elevado porcentaje de partículas finas repercutiría en la capacidad de aire y espacio poroso.

En el **Ig** se observan diferencias significativas siendo el T5 y P los sustratos con mayor Ig. El sustrato TP presentó el mayor contenido de partículas finas resultando en una mayor retención de humedad en comparación con los sustratos T1, T2, T3, T4, T5 y TP cuyos índices muestran valores de 62.47 a 78.25%, lo que significaría una mayor capacidad de aireación (Flores, 2009; López, 2011). Berrospe-Ochoa *et al.*, 2012) obtuvieron índices de grosor en rangos de 35-59% en sustratos a base de cachaza de caña de azúcar mientras que Mazuela y Urrestarazu (2005) reportan índices de 60.4-65.6% para composta de residuos hortícolas.

**Cuadro 1. Análisis granulométrico e Índice de grosor (Ig) en los sustratos evaluados.**

	Tamaño de partícula (mm)						Ig %
	< 0.25	0.25-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	> 2.0	
	----- % en peso -----						
T1	5.45 c	10.90 ab	16.03 b	13.65 ab	10.19 b	43.37 ab	67.21 ab
T2	3.92 c	10.70 ab	15.25 b	11.20 bc	8.54 b	50.35 a	70.09 ab
T3	2.57 c	11.98 ab	22.94 a	15.87 a	10.05 b	36.56 bc	62.47 b
T4	6.38 c	8.83 bc	13.85 b	13.36 b	10.46 b	46.84 ab	70.65 ab
T5	2.04 c	6.41 bc	13.12 b	13.75 a	11.25 b	53.25 a	78.25 a
TP	27.21 a	14.86 a	13.43 b	9.55 c	6.63 c	27.02 c	43.20 c
P	10.82 b	3.90 c	6.52 c	13.11 b	13.20 a	51.85 a	78.16 a

Composta de bagazo de maguey mezcalero sin inóculo (T1), inoculada con *T. harzianum* (T2) y *Aspergillus* sp. (T3) y composta de bagazo de caña sin inóculo (T4) e inoculada con *T. harzianum* (T5); la mezcla de turba con perlita 3:1 v/v (TP) y perlita sola (P). Valores con la misma letra no presentan diferencia significativa (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

La **Da** presentó diferencias significativas siendo T1, T2 y T3 los que presentan los valores más altos, T4 y T5 se ubican en un rango intermedio y TP y P presentan los valores más bajos (Cuadro 2). Abad *et al.* (1993) recomiendan como óptimo un valor menor a  $0.4 \text{ g cm}^{-3}$  siendo los sustratos TP y P los que cumplen dicha propiedad, T4 se ubica en el límite y el resto de los sustratos presentan valores por encima del rango. Berrospe-Ochoa *et al.* (2012) al evaluar cachaza de caña como sustrato reportan valores altos ( $0.40\text{-}0.63 \text{ g cm}^{-3}$ ) en los tratamientos que fueron mezclados con estiércol y sometidos a procesos de biodegradación (compostaje y vermicompostaje) contrario a los resultados reportados por López (2011) al obtener valores de  $0.06\text{-}0.29 \text{ g cm}^{-3}$  en compostas de paja de trigo y bagazo de caña sin mezclar. El aumento en la densidad aparente se debe a que durante los procesos de biodegradación las partículas se fragmentan aumentando la capacidad de retención de agua y disminuyendo el espacio poroso total y la porosidad de aire (Fornes *et al.*, 2012).

En la **Dr** a pesar de que hubo diferencias significativas entre sustratos, todos están dentro del rango señalado como óptimo. La utilidad de esta característica reside en que se puede deducir el grado de estabilidad del sustrato, a menor densidad real hay un mayor contenido de materiales orgánicos, lo que significa que el proceso de mineralización puede continuar y un sustrato mineral como es el caso del sustrato P contiene valores mayores a 2.6 indicando estabilidad (Rodríguez, 2004). Los sustratos orgánicos evaluados muestran valores en un rango de  $1.72\text{-}1.91 \text{ g cm}^{-3}$  y con esto se les puede considerar estables.

La **Pa** fue mayor en el sustrato P y fue significativo al resto de los sustratos (Cuadro 2). Los sustratos T1, T2, T3, T4, T5 y TP presentan valores dentro del rango permisible. Los registros de T1 y T4 presentaron un mayor porcentaje de partículas finas y probablemente a ello se debe la baja porosidad de aire, en TP y P se observan valores altos a pesar de tener mayor proporción de

partículas finas sin embargo son los que presentan la menor densidad aparente. La relación entre Da y Pa fue significativa ( $Pa = 35.01 - 27.93*Da$ ;  $r^2 = .7752$ ) indicando que a mayor Da disminuye la Pa.

**Cuadro 2. Densidad aparente (Da) y real (Dr), Porosidad de aire (Pa), Espacio poroso total (EPT), Capacidad de retención de agua (CRA) y Contracción de volumen (CTR) de los materiales evaluados.**

Sustrato	Da ---- g cm <sup>-3</sup> ----	Dr	Pa	EPT ----- % -----	CRA	CTR
T1	0.54 a	1.83 c	18.36 c	70.60 d	49.51 a	14.74 a
T2	0.54 a	1.85 c	21.31 bc	71.00 d	44.32 bc	16.31 a
T3	0.53 a	1.91 b	22.36 bc	72.05 d	41.19 bc	13.53 a
T4	0.40 b	1.82 c	20.46 bc	78.16 c	44.06 bc	17.05 a
T5	0.43 b	1.78 cd	24.57 b	75.88 c	40.41 c	14.92 a
TP	0.17 c	1.72 d	24.55 b	90.00 b	45.44 ab	7.06 b
P	0.11 d	2.63 a	37.60 a	95.80 a	35.53 d	2.71 b
Óptimo*	<0.4	1.45-2.65	20-30 10-30**	>85	55-70	<30

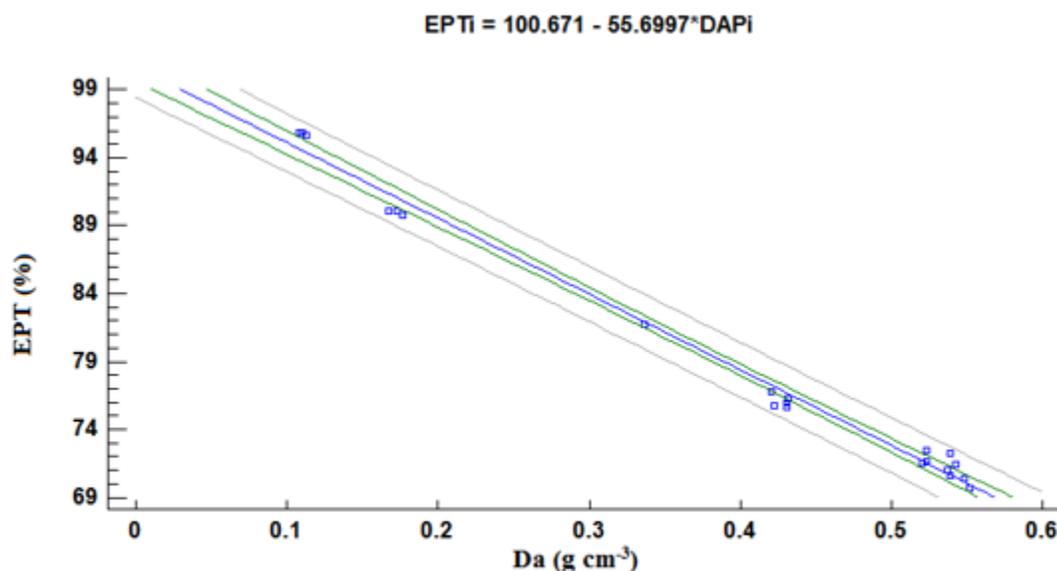
\* Abad *et al.* (1993), \*\*Bunt (1988)

Composta de bagazo de maguey mezcalero sin inóculo (T1), inoculada con *T. harzianum* (T2) y *Aspergillus* sp. (T3) y composta de bagazo de caña sin inóculo (T4) e inoculada con *T. harzianum* (T5); la mezcla de turba con perlita 3:1 v/v (TP) y perlita sola (P). Valores con la misma letra no presentan diferencia significativa (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). Valores con la misma letra no presentan diferencia significativa (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

El **EPT** mostró diferencias significativas siendo el sustrato P el mayor. En los sustratos evaluados se observaron valores en rangos de 70.6-78.16% estando por debajo del límite inferior permisible (Cuadro 2).

Los valores observados en esta investigación coinciden con los reportados por Berrospe-Ochoa *et al.* (2012) que reportan rangos de 68.9-77.4% de EPT en sustratos a base de compostas y vermicompostas de cachaza y estiércol. En sustratos que proceden de compostas a base de materiales puros, los valores de EPT son mayores a 80% (López, 2011; Carmona *et al.*, 2012; Martínez *et al.*, 2013). Se observó una relación altamente significativa entre las variables Da y EPT al presentar un coeficiente de correlación de  $r^2 = 0.9953$ , indicando con esto un comportamiento inversamente proporcional en el que a mayor Da se obtiene una reducción en el

EPT (Figura 2). Abad *et al.* (2004) indican que un alto EPT no indica una buena estructura del sustrato, también es necesario conocer la porosidad de aire ya que el movimiento del oxígeno en el sistema radicular de la planta depende de ambas propiedades.



**Figura 2.** Relación entre las variable Densidad aparente (Da) y el Espacio poroso total (EPT)

La CRA fue mayor en el sustrato T1 y TP y entre ambos sustratos no se observó diferencia significativa, no así con el sustrato P el cual fue numéricamente menor y diferente a los demás sustratos ( $p \leq 0.05$ ). El rango óptimo va de 55-70% y ninguno de los sustratos se ubica dentro, sin embargo los sustratos orgánicos evaluados presentan mayor CRA. López (2011) reporta valores por debajo del óptimo señalado en compostas de bagazo de caña y paja de trigo, mientras que Vargas *et al.* (2008) reportan valores 49.5-81.2 en sustratos de polvo de coco. La baja CRA puede atribuirse a que los sustratos evaluados tienen una Pa relativamente alta en comparación con su EPT, excepto en los sustratos T1 y TP en donde el valor de Pa es bajo lo que significa que el drenaje liberado es poco generándose así una CRA alta.

La **CTR** fue mayor en T1, T2, T3, T4 y T5 (Cuadro 2), siendo estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ) al resto de los sustratos. Todos se encuentran dentro del rango considerado óptimo coincidiendo con lo reportado por Mazuela y Urrestarazu (2005) para compostas de residuos hortícolas las cuales están en un rango de 7.5-13.3%. Urrestarazu *et al.* (2005) reportan porcentajes de 10.0 y 12.3% de CTR en sustrato a base de cáscara de almendra y López-Baltazar *et al.* (2013) reportan valores de 11.35 a 20.38% en sustratos a base de bagazo de agave y vermicomposta. Los porcentajes de CTR permiten sugerir que al establecer un cultivo en los sustratos evaluados no se tendrán problemas de compresión de raíces.

El análisis de varianza muestra que los sustratos evaluados presentan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en todas las propiedades químicas analizadas (Cuadro 3).

El **pH** de TP registró el valor más bajo, el resto de los sustratos tienen valores fuera del rango recomendado. Los valores de pH alcalino aquí reportados coinciden con los que obtuvieron Rodríguez *et al.* (2010) en bagazo de agave tequilero y Berrospe-Ochoa *et al.* (2012) en mezclas de cachaza con estiércol. Los valores altos de pH afectan la nutrición de los cultivos sin embargo no son una limitante ya que mediante la adición de azufre puede reducirse (Abad *et al.*, 2004).

La **CE** fue mayor en T1 y el menor valor se presentó en TP. Respecto al nivel óptimo de CE señalado por Abad *et al.* (1993) los sustratos T1, T2, T4 y T5 se ubican dentro del rango (Cuadro 3). Rodríguez *et al.* (2010) reportan un valor de  $1.59 \text{ dS m}^{-1}$  en bagazo de agave tequilero composteado mientras que Martínez *et al.* (2013) reportan valores de  $1.64\text{-}1.79 \text{ dS m}^{-1}$  en compostas de bagazo de agave mezcalero. López (2011) reportó un valor de  $4.2 \text{ dS m}^{-1}$  en sustrato a base de composta de bagazo caña, todos los valores son más altos a los reportados en este trabajo. La CE es una propiedad en la que los valores altos pueden adecuarse aplicando un lavado previo

a la plantación o incluso corregirse durante el programa de riego, aun cuando ya esté establecido el cultivo, al efectuarse una lixiviación controlada de sales, (Martínez *et al.*, 2013; Mazuela y Urrestarazu, 2005).

El contenido de **MO** que presentaron T5 y TP no mostró diferencias entre sí pero fue mayor numéricamente al resto, presentando significancia con respecto a P en el cual el contenido fue el más bajo por tratarse de un material mineral. Los sustratos evaluados presentaron valores de 50.25 a 59.92%, los cuales se encuentran por debajo del rango recomendado, coincidiendo con Berrospe-Ochoa *et al.* (2012) quien reporta valores de 60 a 67% en compostas y vermicompostas a base de cachaza, contrario a los valores reportados para compostas con materiales sin mezclar en donde se reportan valores de 80 a 92.22% (López, 2011). El bajo contenido de MO se debe a que los sustratos evaluados fueron sometidos a procesos de compostaje mezclados con estiércol e inoculados con microorganismos al inicio. Los valores coinciden con los reportados por López-Baltazar *et al.* (2013) en sustratos compuestos de bagazo de agave mezcalero y vermicomposta donde se obtuvieron valores de 49.7 a 57%.

El contenido de **COT** fue más bajo en los sustratos evaluados debido a la mineralización que se llevó a cabo durante el compostaje aunado a la acción de los microorganismos. Los valores reportados en T1, T2, T3, T4 y T5 coinciden con lo que reportan Martínez *et al.* (2013) en donde los contenidos COT en compostas de bagazo de maguey mezcalero sin mezclar van en un rango de 32 a 39%, en este caso el tiempo de compostaje y almacenamiento es un factor importante ya que a mayor tiempo el COT va disminuyendo. Un COT alto indicaría que hay probabilidades de que el proceso de mineralización continúe, y con esto hay riesgo de que se presenten problemas como la inmovilización de nitrógeno, fitotoxicidad debido a la generación nuevos compuestos orgánicos, cambios en la capacidad de intercambio catiónico o incremento de la salinidad del

medio además de que el cambio provocaría una disminución en la capacidad de aireación pudiendo provocar asfixia radicular (Domeño *et al.*, 2009 y 2011). Los resultados obtenidos permiten suponer que no se presentarán condiciones que pudieran afectar el desarrollo de cultivos ya que los materiales presentan un contenido de COT bajo.

Los contenidos de **NT** fueron altos en las compostas evaluadas siendo significativamente diferentes a TP y P. T1 y T4 presentan el mayor contenido de NT y puede deberse a que los microorganismos presentes en el proceso no utilizaron grandes cantidades de este elemento, contrario a los sustratos T2, T3 y T5 los cuales si fueron inoculados con microorganismos lignocelulósicos. Los resultados obtenidos muestran contenidos altos de NT coincidiendo con los reportados por Martínez *et al.* (2013) y López-Baltazar *et al.* (2013) para sustratos a base de compostas de bagazo de maguey mezcalero. Por otro lado López (2011) señala que los sustratos a base de bagazo de caña y paja de trigo presentan valores menores a 1.0%.

La **R C/N** presenta valores bajos en T1, T2, T3, T4 y T5 lo cual indica que los sustratos presentan estabilidad. TP y P se presentan valores altos debido a que contienen material mineral (perlita) y un bajo o nulo contenido de NT. Los valores reportados por Rodríguez *et al.* (2010) y Martínez *et al.* (2013) para sustratos a base bagazo de agave tequilero y mezcalero (respectivamente) son mayores a los obtenidos en este trabajo. López (2011) reporta R C/N mayores a 60 en sustratos a base de compostas de residuos orgánicos mientras que los resultados que muestra Berrospe-Ochoa *et al.* (2012) para cachaza se sitúan entre 16 y 20 coincidiendo con los obtenidos en esta investigación.

Para este trabajo ninguna de las compostas evaluadas cumple con los requerimientos, sin embargo Abad *et al.* (2004) menciona que una C/N menor a 40 indica un buen grado de estabilidad y es óptimo para el cultivo. Rodríguez (2004) menciona que los materiales con alto contenido de lignina

presentan mayor bioestabilidad que aquellos con hemicelulosa y celulosa, aun cuando presenten valores de R C/N cercanos entre sí.

**Cuadro 3. Valores de pH, Conductividad eléctrica (CE), Materia orgánica (MO), Carbono orgánico total (COT), Nitrógeno total (NT), Fósforo (P), Potasio (K) y Relación carbono nitrógeno (R C/N) de los materiales evaluados.**

Sustrato	pH	CE dS m <sup>-1</sup>	MO	COT	NT %	P	K	R C/N
T1	9.33 a	1.95 a	58.84 b	32.69 b	2.05 a	0.43 b	0.99 a	15.98 c
T2	9.63 a	1.11 b	56.62 b	31.45 b	1.85 a	0.38 c	1.15 a	17.05 c
T3	9.90 a	0.66 c	50.25 b	27.92 b	1.62 b	0.39 c	1.18 a	17.24 c
T4	9.04 a	1.08 b	59.92 b	33.29 b	2.01 a	0.45 a	1.03 a	16.64 c
T5	9.38 a	1.37 b	64.29 ab	35.72 ab	1.97 a	0.39 c	0.99 a	18.19 c
TP	4.88 c	0.17 d	70.11 a	38.95 a	0.41 c	0.02 d	0.46 c	96.01 b
P	8.25 b	0.00 d	1.07 c	0.59 c	0.00 d	0.00 e	0.60 b	489.70 a
Óptimo	5.2- * 6.3	0.75-1.99* 2.00-3.50**	> 80	-	< 2.0***	-	-	20-40

\* Abad *et al.* (1993), \*\*Bunt (1988), \*\*\*Schweizer *et al.* (2003).

Composta de bagazo de maguey mezcalero sin inóculo (T1), inoculada con *T. harzianum* (T2) y *Aspergillus sp.* (T3) y composta de bagazo de caña sin inóculo (T4) e inoculada con *T. harzianum* (T5); la mezcla de turba con perlita 3:1 v/v (TP) y perlita sola (P). Valores con la misma letra no presentan diferencia significativa (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

El contenido de **P** y **K** presentó diferencias significativas siendo T4 el de mayor concentración de **P** y T1 y T5 los de mayor contenido de **K**. Carmona *et al.* (2012) reportan concentraciones de 0.4% en **P** y de 2.4% en **K** para sustratos a base de composta de orujo de uva y Haddadin *et al.* (2009) también reportan incrementos de 0.3 a 1.1% en el contenido de **P** y de 0.71 a 19.8% de **K** en compostas de orujo de oliva inoculado con microorganismos. López (2011) reporta valores por encima de 3.0% en **P** e inferiores a 0.77% de **K** en sustratos a base de composta de residuos orgánicos. Sharma *et al.* (2012) reporta incrementos en los contenidos de **P** y **K** en compostas a base de residuos cultivos con inoculación de *Trichoderma sp.* Heredia-Abarca *et al.* (2008) menciona la importancia de los hongos en la liberación y mineralización de **P** y **K** con lo cual se vuelven disponibles para las plantas. Abad *et al.* (2004) menciona que el contenido de nutrientes en los materiales utilizados como sustratos de cultivo depende de su origen siendo los de origen orgánico los que tienen mayores concentraciones iniciales y que a pesar de ello se deben hacer

adaptaciones de acuerdo a las condiciones y tipo de cultivo con el fin de obtener resultados satisfactorios.

Las características químicas de un sustrato alternativo son manipulables y se pueden corregir en caso de que sean desfavorables incluso ya iniciado el cultivo, lo contrario a las propiedades físicas ya que estas dependen del origen y tratamiento de los materiales originales, estas se deben manipular previo a la plantación ya que una vez iniciado el cultivo no se pueden modificar y puede resultar en problemas.

En la evaluación agronómica se observaron diferencias significativas entre tratamientos en cada una de las variables respuesta de plantas de chile de onza (Cuadro 5), y en todas las variables respuesta el sustrato P presentó los menores valores.

La Ap en fue menor en las plantas del sustrato P, el resto de los sustratos no mostraron significancia entre sí ( $p \leq 0.05$ ) siendo el sustrato T2 el que presentó plantas con mayor altura a lo largo de la evaluación. La Figura 2 muestra que a partir de 12 ddt se comienzan a apreciar diferencias estadísticas entre tratamientos a pesar de que la fertilización comenzó en el día 19 después del trasplante. Los sustratos de TP y P tuvieron un desarrollo lento en los primeros 19 días debido a que son sustratos con bajos o nulos contenidos de nutrientes respectivamente, en el caso del sustrato TP se observa que a partir del día 19 comienza a desarrollar mayor altura debido a la aplicación de solución nutritiva, cabe mencionar que fue el sustrato con plantas de mayor altura final.

Márquez-Quiroz *et al.* (2013) reportan mayor altura de plantas de chile piquín en sustratos que contenían composta y vermicomposta mezcladas con arena, mientras Ortega-Martínez *et al.* (2010) obtuvieron mayor altura en plantas de jitomate cultivadas en sustratos compuestos de aserrín puro

y mezclados con composta. Moya (2013) al evaluar mezclas de compostas como sustratos en cultivo de chile de agua reporta alturas sobresalientes en mezclas que contenían composta de bagazo de caña y paja de trigo en mayor proporción.

El **Dt** mostró un comportamiento similar al no haber diferencias significativas entre T1, T2, T3, T4, T5 y TP al obtener tallos de mayor grosor, no así para P. La dinámica del desarrollo del tallo (Figura 3) muestra que las planta de los sustratos T1, T2, T3, T4 y T5 mantuvieron un engrosamiento de tallo constante. En el caso del sustrato TP, el grosor de tallo fue afectado por la aplicación de solución nutritiva ya que a partir del día 19 se observa un mayor desarrollo que en las plantas de P donde la respuesta fue más lenta.

Moya (2013) reportó 0.7 cm de grosor de tallo en plantas de chile de agua cultivadas en sustratos con mayor proporción de composta de bagazo de caña, así mismo Ortega-Martínez *et al.* (2010) reportaron mayor Dt en plantas de tomate cultivadas en mezclas de aserrín y composta.

Se observó un mayor desarrollo en los sustratos T1, T2, T3, T4 y T5 a los 19 días después del trasplante a pesar de que no se suministró solución nutritiva lo cual se debe a que las plantas cultivadas en composta como sustrato presentan mayor desarrollo, sobre todo en las primeras etapas y esto se debe al contenido de nutrientes disponibles que fueron liberados durante el proceso de degradación, y se puede llegar a satisfacer la demanda de nutrientes hasta dos meses después del trasplante (Ochoa-Martínez *et al.*, 2009).

La dinámica de la altura de planta y el diámetro de tallo del cultivo de chile onza en los sustratos evaluados hasta el día 104 ddt se puede explicar mediante modelos de regresión lineal (Cuadro 4). El ajuste resultó aceptable ya que el  $r^2$  fluctuó de 0.9445-0.9828 y de 0.9004-0.9802 para la altura de planta y diámetro de tallo respectivamente, coincidiendo con Moya (2013) quien presenta

valores de  $r^2$  de 0.927-0.996 y 0.8871-0.9816 para altura de planta y diámetro de tallo en chile de agua cultivado en sustratos orgánicos.

**Cuadro 4. Ecuaciones de regresión y coeficientes de determinación para la altura de planta y diámetro de tallo.**

Sustrato	Altura de planta		Diámetro de tallo	
		$r^2$		$r^2$
T1	$Ap = 6.42434 + 1.4844*DDT$	0.9466	$Dt = 0.213056 + 0.00966394*DDT$	0.9653
T2	$Ap = 5.23543 + 1.56604*DDT$	0.9761	$Dt = 0.206249 + 0.0105639*DDT$	0.9685
T3	$Ap = 5.78284 + 1.50593*DDT$	0.9635	$Dt = 0.199869 + 0.0109082*DDT$	0.9802
T4	$Ap = 7.11208 + 1.49844*DDT$	0.9814	$Dt = 0.237031 + 0.0109064*DDT$	0.9634
T5	$Ap = 3.40109 + 1.51604*DDT$	0.9828	$Dt = 0.176709 + 0.0111673*DDT$	0.9375
TP	$Ap = 0.99514 + 1.61788*DDT$	0.9714	$Dt = 0.142159 + 0.0130847*DDT$	0.9004
P	$Ap = -1.11011 + 1.21057*DDT$	0.9445	$Dt = 0.140417 + 0.00804933*DDT$	0.9346

DDT: Días después del trasplante.

Composta de bagazo de maguey mezcalero sin inóculo (T1), inoculada con *T. harzianum* (T2) y *Aspergillus* sp. (T3) y composta de bagazo de caña sin inóculo (T4) e inoculada con *T. harzianum* (T5); la mezcla de turba con perlita 3:1 v/v (TP) y perlita sola (P).

El **Nfl** en las plantas cultivadas en P fue menor y estadísticamente diferente al registrado en el resto de los sustratos. Los sustratos sobresalientes fueron T4 y TP en los cuales se registró el mayor número de flores durante los 104 días de evaluación.

El mayor Nfr y Re se observó en los sustratos T2, T3 y T4, donde el rendimiento fue de 194.0, 199.67 y 205.0 g.planta<sup>-1</sup> respectivamente en el día 104 ddt.

El comportamiento mostrado en cuanto al número de frutos se aprecia en la figura 5. Se observa que T2, T3 y T4 fueron los primeros en comenzar la fructificación entre el día 37 y 52 y en los sustratos T1 y T5 comenzó entre el día 52 y 65. Además se observa un punto de inflexión a partir del día 72 en el cuál la mayoría de los sustratos, mostraron un incremento drástico en el número de frutos, a excepción de los sustratos T5 y P.

La dinámica de los rendimientos observados coinciden con los reportados por Márquez y Quiroz *et al.* (2013) quienes reportan mayor número de frutos y rendimiento en plantas de chile piquín

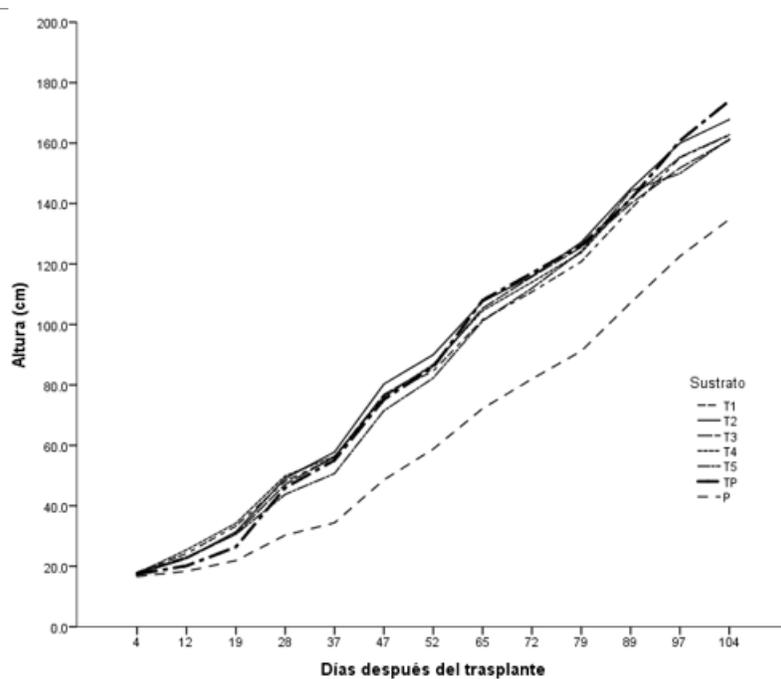
cultivadas en sustratos a base de compostas. Moya (2013) observo mayor número de frutos de chile de agua en sustratos de bagazo de caña y bagazo de caña mezclado con turba y los frutos con mayor peso los obtuvo en el sustrato con bagazo de caña solo. Ortega-Martínez *et al.* (2010) reportan que el mayor rendimiento en plantas de jitomate se obtuvo en sustratos a base de aserrín mezclado con composta.

Mazuela y Urrestarazu (2005) al evaluar compostas de residuos hortícolas como sustrato en cultivo de melón reporta rendimientos ligeramente inferiores al sustrato de comparación (fibra de coco comercial), mientras que en la presente evaluación los rendimientos más altos se obtuvieron en los sustratos alternativos.

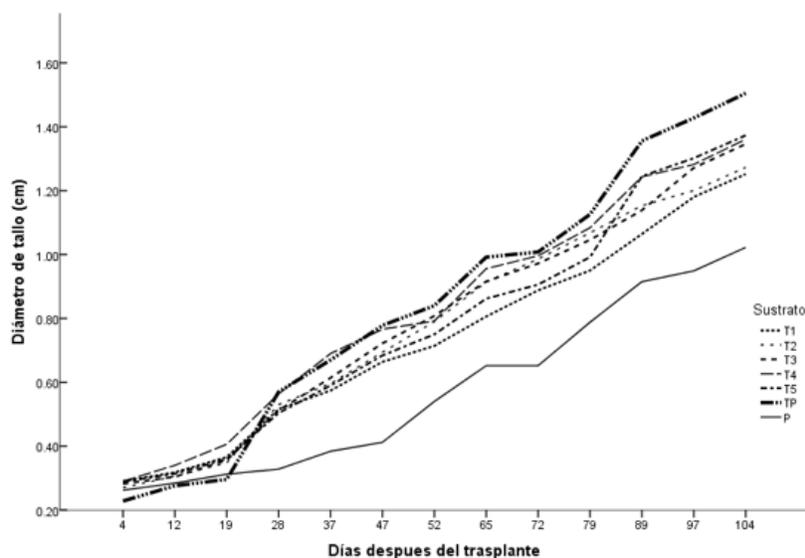
**Cuadro 5. Altura de planta (Ap), Diámetro de tallo (Dt), Número de flores (Nfl), Número de frutos (Nfr) y Rendimiento (Re) de chile de onza (*Capsicum* sp) durante la evaluación agronómica de sustratos de cultivo.**

Sustrato	Ap ----- cm -----	Dt	Nfl	Nfr	Re g. planta <sup>-1</sup>
T1	86.92 a	0.74 a	7.17 a	1.89 a	48.00 b
T2	90.16 a	0.78 a	7.42 a	3.31 a	194.00 a
T3	87.45 a	0.79 a	6.95 a	2.85 a	199.67 a
T4	88.37 a	0.83 a	9.89 a	3.20 a	205.00 a
T5	85.62 a	0.78 a	7.52 a	0.77 b	142.0 a
TP	88.73 a	0.85 a	9.69 a	1.29 ab	87.67 b
P	64.54 b	0.58 b	2.34 b	0.08 b	4.00 b

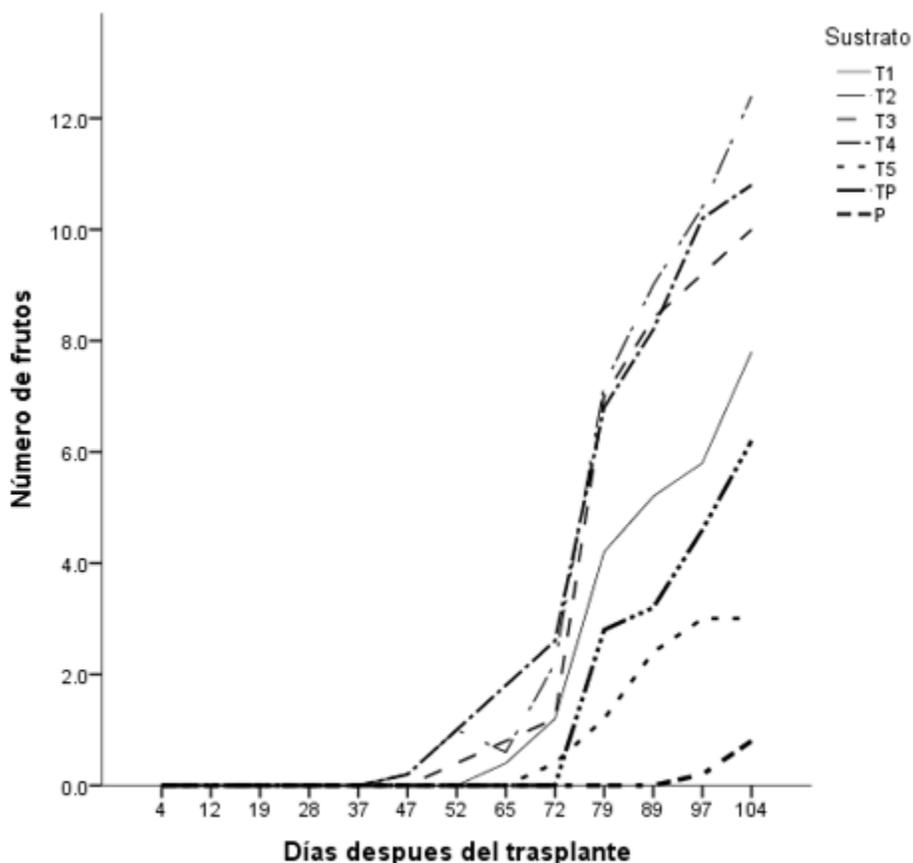
Composta de bagazo de maguey mezcalero sin inóculo (T1), inoculada con *T. harzianum* (T2) y *Aspergillus* sp. (T3) y composta de bagazo de caña sin inóculo (T4) e inoculada con *T. harzianum* (T5); la mezcla de turba con perlita 3:1 v/v (TP) y perlita sola (P). Valores con la misma letra no presentan diferencia significativa (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).



**Figura 3.** Dinámica de la altura en plantas de chile de onza cultivadas en diferentes sustratos. Composta de bagazo de maguey mezcalero sin inóculo (T1), inoculada con *T. harzianum* (T2) y *Aspergillus* sp. (T3) y composta de bagazo de caña sin inóculo (T4) e inoculada con *T. harzianum* (T5); la mezcla de turba con perlita 3:1 v/v (TP) y perlita sola (P)



**Figura 4.** Dinámica del diámetro de tallo en plantas de chile de onza cultivadas en diferentes sustratos. Composta de bagazo de maguey mezcalero sin inóculo (T1), inoculada con *T. harzianum* (T2) y *Aspergillus* sp. (T3) y composta de bagazo de caña sin inóculo (T4) e inoculada con *T. harzianum* (T5); la mezcla de turba con perlita 3:1 v/v (TP) y perlita sola (P).



**Figura 5** .Dinámica del número de frutos en plantas de chile de onza cultivadas en sustratos. Composta de bagazo de maguey mezcalero sin inóculo (T1), inoculada con *T. harzianum* (T2) y *Aspergillus* sp. (T3) y composta de bagazo de caña sin inóculo (T4) e inoculada con *T. harzianum* (T5); la mezcla de turba con perlita 3:1 v/v (TP) y perlita sola (P).

**La Granulometría** se vio afectada después de un ciclo de cultivo, la fracción de partículas gruesas se redujo probablemente debido a la acción de las raíces y a la degradación biológica que se presentó en los sustratos (Cuadro 6).

La mayor reducción de la fracción gruesa se presentó en los sustratos T3, T4 y T5 con lo que aumentó el porcentaje de partículas medianas y en T4 aumentó la proporción de partículas finas.

En el sustrato P se presentó lo contrario al elevarse la fracción gruesa posiblemente debido a que las partículas finas fueron arrastradas por el riego dejando solamente las partículas más grandes.

Moya (2013) al caracterizar sustratos orgánicos después de dos ciclos de producción reportó un aumento en la fracción gruesa y fina. Pineda-Pineda *et al.* (2012) menciona que cuando en el sustrato contiene partículas con marcadas diferencias en el diámetro, se producen empaquetamientos provocando la disminución en la capacidad de aireación y la porosidad del sustrato. Abad *et al.* (1993) menciona que un sustrato debe contener el mayor porcentaje de partículas entre 0.25-2.5 mm, en los sustratos resultantes va aumentando dicha fracción.

El **Ig** mostró reducción. Al fraccionarse las partículas gruesas hay un aumento en la proporción de partículas fina y mediana. Los valores finales se ubicaron en rangos de 41.56 a 86.10 %, los más bajos corresponden a T3, T4 y T5, mientras que el mayor valor lo mostró el sustrato P (Cuadro 7).

Al respecto Moya (2013) reporta un aumento en la Ig de sustratos evaluados después de dos ciclo de cultivo (54.85 a 74.85%) al elevarse la proporción de partículas gruesas.

La **Da** al final del ciclo de cultivo presentó diferencias significativas. Los cambios más notorios se presentaron en los sustratos T2, T3, T4, T5 y TP al aumentar su Da, siendo el sustrato T4 el presentó el mayor aumento. Únicamente los sustratos de comparación presentaron valores dentro del rango óptimo.

En la **Dr** no se observaron cambios después de un ciclo de producción (Figura 6) y todos los sustratos estuvieron dentro del rango óptimo. Pineda-Pineda *et al.* (2012) al evaluar mezclas de sustratos con cultivo de jitomate durante 30 meses reporta que la densidad aparente no presentó cambios significativos a pesar de que se presentaron disminuciones en la porosidad y aumentó la fracción fina de partículas. Contrario a lo que Moya (2013) reporta en sustratos después de dos ciclos de producción, en donde se observa una disminución en los valores de Da.

**Cuadro 6 Análisis granulométrico en sustratos evaluados después de un ciclo de producción.**

Sustrato	Tamaño de partícula (mm)					
	< 0.25	0.25-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	> 2.0
	----- % en peso-----					
T1	3.97 c	9.12 c	19.42 ab	15.99 ab	10.53 b	40.60 b
T2	3.32 c	7.85 c	14.99 b	13.51 bc	10.46 b	49.65 ab
T3	12.61 b	16.71 a	23.05 a	14.81 bc	8.97 b	23.55 c
T4	5.78 c	10.82 bc	19.22 ab	15.39 b	9.85 b	38.75 b
T5	3.39 c	8.52 c	19.54 ab	18.57 a	12.61 a	36.84 bc
TP	27.22 a	15.37 ab	15.28 b	10.70 c	6.78 c	24.08 c
P	6.03 c	2.12 d	5.39 c	12.48 c	12.92 a	60.70 a

Composta de bagazo de maguey mezcalero sin inóculo (T1), inoculada con *T. harzianum* (T2) y *Aspergillus* sp. (T3) y composta de bagazo de caña sin inóculo (T4) e inoculada con *T. harzianum* (T5); la mezcla de turba con perlita 3:1 v/v (TP) y perlita sola (P). Valores con la misma letra en cada columna no presentan diferencia significativa (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

El **EPT** mostró diferencias significativas sin embargo al comparar los valores iniciales y finales únicamente el T4 muestra una disminución en el EPT (Figura 7). Al respecto Moya (2013) reporta valores de 56.831 a 65.755% de EPT, los cuales son más bajos a los reportados en este trabajo mientras que Pineda-Pineda *et al.* (2012) reporta disminución en el EPT hasta valores inferiores a 70%. Los valores de Da son los que afectan al presentarse una relación inversamente proporcional donde un aumento en los valores de Da provocan la disminución del EPT.

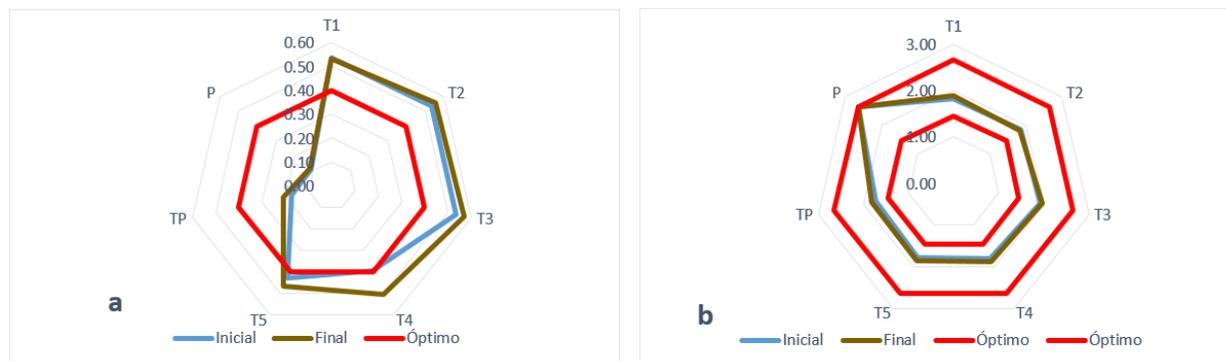
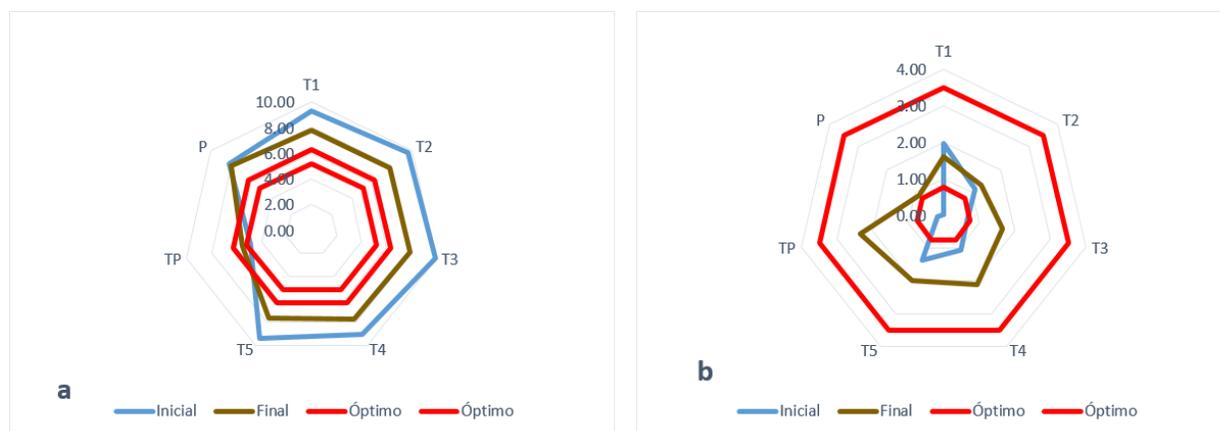


Figura 6. Cambios en la densidad aparente (a) y densidad real (b) en sustratos evaluados después de un ciclo de cultivo. Composta de bagazo de maguey mezcalero sin inóculo (T1), inoculada con *T. harzianum* (T2) y *Aspergillus* sp. (T3) y composta de bagazo de caña sin inóculo (T4) e inoculada con *T. harzianum* (T5); la mezcla de turba con perlita 3:1 v/v (TP) y perlita sola (P).



Figura 7. Cambios en el espacio poroso total (a) y en el índice granulométrico (b) en sustratos evaluados después de un ciclo de cultivo. Composta de bagazo de maguey mezcalero sin inóculo (T1), inoculada con *T. harzianum* (T2) y *Aspergillus* sp. (T3) y composta de bagazo de caña sin inóculo (T4) e inoculada con *T. harzianum* (T5); la mezcla de turba con perlita 3:1 v/v (TP) y perlita sola (P).

En cuanto a los valores de **pH** se observó una disminución en los sustratos T1, T2, T3, T4 y T5 mientras que en TP se presentó un aumento, el pH de P no reflejo cambios drásticos (Figura 8).



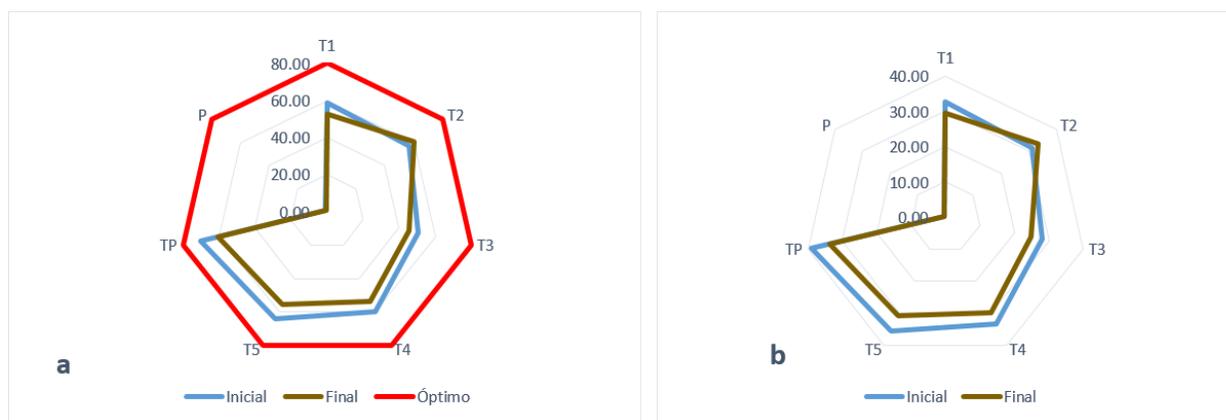
**Figura 8.** Cambios en pH (a) y conductividad eléctrica (b) en sustratos evaluados después de un ciclo de cultivo. Composta de bagazo de maguey mezcalero sin inóculo (T1), inoculada con *T. harzianum* (T2) y *Aspergillus sp.* (T3) y composta de bagazo de caña sin inóculo (T4) e inoculada con *T. harzianum* (T5); la mezcla de turba con perlita 3:1 v/v (TP) y perlita sola (P).

La **CE** aumentó en la mayoría de los sustratos con excepción de T1 en donde se observa disminución. La aplicación de solución nutritiva posiblemente aumentó los valores de esta propiedad aunque a pesar de ello no se rebasaron los umbrales recomendados (Figura 8).

Moya (2013) al caracterizar sustratos utilizados durante dos ciclos en cultivo de chile de agua, contrasta con los resultados obtenidos en esta investigación, ya que en las variables de pH reporta incrementos y en la CE se produjeron disminuciones.

Se presentaron reducciones en el contenido de MO en los sustratos T1, T3, T4, T5 y TP en rangos de 45.23 a 60.56% y el contenido de **COT** muestra valores de 24.91 a 33.56% (Figura 9 y Cuadro 7). El sustrato T3 presentó el valor más bajo de MO y COT respecto al resto de los sustratos, esto es debido a que se presentó mayor degradación a lo largo del tiempo, lo cual se reflejó en un aumento en su Da y disminución en el Ig al finalizar un ciclo de cultivo.

Moya (2013) muestra resultados contrastantes al presentar contenidos de MO de 64.2 a 76.4%, sin embargo los contenidos de COT van 13.11 a 19.89 % los cuales son menores a los obtenidos en esta investigación.



**Figura 9. Cambios en el contenido de materia orgánica (a) y carbono orgánico total (b) en sustratos evaluados después de un ciclo de cultivo. Composta de bagazo de maguey mezcalero sin inóculo (T1), inoculada con *T. harzianum* (T2) y *Aspergillus sp.* (T3) y composta de bagazo de caña sin inóculo (T4) e inoculada con *T. harzianum* (T5); la mezcla de turba con perlita 3:1 v/v (TP) y perlita sola (P).**

**Cuadro 7. Densidad aparente (Da), Densidad real (Dr), Espacio poroso total (EPT), Índice granulométrico (Ig), pH, Conductividad eléctrica (CE), Materia orgánica (MO) y Carbono orgánico total (COT) después de un ciclo de producción.**

Sustrato	Da ---- g cm <sup>-3</sup> ----	Dr	EPT ----- % -----	Ig -----	pH	CE dS m <sup>-1</sup>	MO ----- % -----	COT -----
T1	0.53 a	1.89 c	71.78 c	67.13 b	7.75 b	1.61 b	52.79 a	29.46 a
T2	0.56 a	1.82 c	69.32 c	73.62 ab	7.82 ab	1.33 b	60.46 a	33.45 a
T3	0.57 a	1.97 b	71.04 c	47.33 c	7.86 b	1.66 b	45.23 b	24.91 b
T4	0.50 a	1.87 c	73.16 c	63.99 b	7.68 b	2.12 a	53.96 a	30.00 a
T5	0.46 a	1.86 c	75.06 c	68.02 b	7.61 b	2.00 a	55.61 a	30.83 a
TP	0.21 b	1.81 c	88.54 b	41.56 c	5.54 c	2.36 a	60.56 a	33.56 a
P	0.12 c	2.63 a	95.60 a	86.10 a	8.05 a	0.86 c	0.79 c	0.52 c
Óptimo	<0.4	1.45-2.65	>85		5.2-6.3	0.75-1.99* 2.00-3.50**	> 80	

\* Abad *et al.* (1993), \*\*Bunt (1988).

Composta de bagazo de maguey mezcalero sin inóculo (T1), inoculada con *T. harzianum* (T2) y *Aspergillus sp.* (T3) y composta de bagazo de caña sin inóculo (T4) e inoculada con *T. harzianum* (T5); la mezcla de turba con perlita 3:1 v/v (TP) y perlita sola (P). Valores con la misma letra no presentan diferencia significativa (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

## Conclusiones

Las compostas evaluadas no afectaron el desarrollo de las lombrices *E. fétida* por lo que se pueden considerar productos libres de toxicidad. Los parámetros de densidad real, porosidad de aire, contracción de volumen, conductividad eléctrica, carbono orgánico total y relación carbono/nitrógeno de las compostas evaluadas presentaron valores de dentro de los rangos recomendados. La densidad aparente, espacio poroso total, la capacidad de retención de agua, pH y materia orgánica de presentaron valores ligeramente fuera de los intervalos óptimos sin que esto impidiera el crecimiento del cultivo. Las compostas evaluadas mostraron contenidos de Nitrógeno total, Fósforo y Potasio mayores a los sustratos testigo. La evaluación agronómica mostró un desarrollo favorable del cultivo de chile de onza en las compostas evaluadas, sin embargo las compostas de bagazo de maguey inoculadas con *T. harzianum* y *Aspergillus* sp. y en el bagazo de caña de azúcar sin inocular presentaron el mayor número de frutos y rendimiento por planta. Después de un ciclo de cultivo las compostas evaluadas sustratos mostraron degradación natural sin que esto cambiara drásticamente sus propiedades, el sustrato T3 fue el que mostró mayor disminución de su contenido de materia orgánica y carbono orgánico total al final del ciclo de cultivo sin que esto afectará el rendimiento.

## Literatura citada

- Abad, M., Martínez, P. F., Martínez, M. D., Martínez, J. 1993. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Actas Hort.* 11,141-154.
- Abad, B. M.; Noguera, M. P.; Carrión, B. C. 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelo. En: Urreztarazu M. *Tratado de cultivo sin suelo (3.a ed.)* Pp 914. España: Ediciones Mundi-Prensa. (4)113-158.
- Altieri, R., Esposito, A., 2012. Evaluation of the fertilizing effect of olive waste mill compost in short-term crops. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 64, 124-128.
- Ansorena, M. 1994. *Sustratos propiedades y caracterización.* Ed. Mundi-Prensa, España. 172 p.
- Berrospe-Ochoa, E. A., Ordaz-Chaparro, V. M., Rodríguez-Mendoza, M. D. L. N. & Quintero-Lizaola, R. 2012. Cachaza como sustrato para la producción de plántula de tomate. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 18(1) 141-156.
- Bremner, J.M. 1965. Inorganic forms of nitrogen. In: *Methods of soil analysis. Part 2.* C.A. Black (Ed). *Agronomy Monographs Number 9.* American Soil Association (ASA). Madison, WI. 1179-1237 pp.
- Bunt A. C. 1988. *Media and Mixes for Container-Grown Plants.* Unwind Hyman Ltd., London.
- Castellanos, J. 2011. *Manual de producción de tomate en invernadero.* Intagri. 1ra Ed. México. 458 p.
- Carmona, E., Moreno, M. T., Avilés, M., Ordovás, J. 2012. Use of grape marc compost as substrate for vegetable seedling. *Scientia Horticulturae* 137, 69-74.
- Domeño, I., Irigoyen, N., Muro, J. 2009. Evolution of organic matter and drainages in Wood fibre and coconut fibre substrates. *Scientia Horticulturae.* 122, 269-274.

- Domeño, I., Irigoyen, N., Muro, J. 2011. Comparison of traditional and improved methods for estimating the stability of organic growing media. *Scientia Horticulturae*. 130, 335–340.
- EPA, 1996. Ecological Effects Test Guidelines OPPTS 850.6200 Earthworm Subchronic Toxicity Test. 712 (C) .96–167.
- Flores, R. P. A. 2009. Compostaje de dos materiales de bagazo de maguey tequilero (*Agave tequilana weber*) y su determinación física y fisicoquímica. Tesis de Maestría en Ciencias. CIIDIR-IPN Unidad Oaxaca. 99 Pp.
- Fornes, F., Mendoza-Hernández, D., García-de-la-Fuente, R., Abad, M., and Belda, R. M., 2012. Composting versus vermicomposting: A comparative study of organic matter evolution through straight and combined processes. *Bioresour. Technol.* 118, 296-305.
- Golueke, C.G. 1977. *Biological Reclamation of Solid Wastes*. Emmaus, PA: Rodale Press.
- Haddadin, M.S.Y., Haddadin, J., Arabiyat, O. I., Butros, H. 2009. Biological conversion of olive pomace into compost by using *Trichoderma harzianum* and *Phanerochaete chrysosporium*. *Bioresource Technology*. 100, 4773-4782.
- Heredia-Abarca, G., Castañeda-Ruiz, R., Cappello, S. Biología e importancia de los hongos microscópicos filamentosos. En Heredia, G. (Ed). 2008. Tópicos sobre diversidad, ecología y usos de los hongos microscópicos. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED) e Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Ver. México. Pp 5-26.
- López-Baltazar, J., Méndez-Matías, A., Pliego-Marín, L., Aragón-Robles, E. & Robles-Martínez, M. L. 2013. Evaluación agronómica de sustratos en plántulas de chile ‘onza’ (*Capsicum annum*) en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 6,1139-1150.

- López, C. X. A. 2011. Caracterización de compostas derivadas de residuos orgánicos enfocadas a su uso como sustratos. Tesis de maestría en ciencias. CIIDIR-IPN UNIDAD OAXACA. 53 Pp.
- Martínez, G. A., Íñiguez, G., Ortiz-Hernández, Y. D., López-Cruz, J. Y., Bautista, M. A 2013. Tiempos de apilado del bagazo del maguey mezcalero y su efecto en las propiedades del compost para sustrato de tomate. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*, 29 (3), 209-216.
- Márquez-Quiroz, C., López-Espinosa, S. T., Cano-Ríos, P., Moreno-Reséndez, A. 2013. Fertilización orgánica: una alternativa para la producción de chile piquín bajo condiciones protegidas. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 19(3), 279-286.
- Mazuela, P., Urrestarazu, M. 2005. Evaluación agronómica de un cultivo de melón utilizando compost como sustrato en cultivo sin suelo. *IDESIA (Chile)* 23 (2), 39-45.
- Moya, R. R. 2013. Evaluación de mezclas de compostas con aplicación de fertilizante de liberación lenta o solución nutritiva para la producción de tomate y chile. Tesis de Maestría en Ciencias. CIIDIR-IPN Unidad Oaxaca. 65 Pp.
- Ochoa-Martínez, E., Figueroa-Viramontes, U., Cano-Ríos, P., Preciado-Miguel, P., Moreno-Reséndez, A., Rodríguez-Dimas, N. 2009. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 15 (3), 245-250.
- Ortega-Martínez, L. D., Sánchez-Olarte, J., Ocampo-Mendoza, J., Sandoval-Castro, E., Salcido-Ramos, B. A., Manzo-Ramos, F. 2010. Efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicum esculentum* mill) bajo condiciones de invernadero. *Ra Ximhai*, 6(3) 339-346.

- Peech, L., Alexander, L.T., Dean, L.A. 1947. Methods of Soil Analysis for Soil Fertility Investigations. USDA Cir. nº 757.
- Pineda-Pineda, J., Sánchez del Castillo, F., Ramírez-Arias, A., Castillo-González, A. M., Valdés-Aguilar, L. A., Moreno-Pérez, E. D. C. 2012. Aserrín de pino como sustrato hidropónico. I: variación en características físicas durante cinco ciclos de cultivo. *Revista chapingo serie horticultura*, 18(1) 95-111.
- Rodríguez, M. R. 2004. Desarrollo y caracterización de sustratos orgánicos a partir del bagazo de agave tequilero. Tesis Doctoral. Montecillo Texcoco, Edo. de México. 134 p.
- Rodríguez, M. R., Alcantar, G. E. G., Íñiguez, C. G., Zamora, N. F., García, L. P. M., Ruíz, L. M. A., Salcedo, P. E. 2010. Caracterización física y química de sustratos agrícolas a partir de bagazo de agave tequilero. *Interciencia*, 37 (7), 515-520.
- Schweizer, S.; Vargas, A.; Salas, E. 2003. Caracterización de diferentes compost utilizando técnicas físicas, químicas y biológicas. *In: Soto, G. y Descamps, P. (Eds). Memoria del I Encuentro Mesoamericano y de Caribe y III Encuentro Costarricense de Agricultores Experimentadores e Investigadores en producción orgánica. Edit del Norte, Costa Rica. 66-67 pp.*
- Sharma, B. L., Singh, S. P., Sharma, M. L. 2012. Bio-degradation of crop residues by *Trichoderma* species vis-á vis nutrient quality of prepared compost. *Sugar Tech.* 14(2), 174-180.
- Suthar, S., 2010. Recycling of agro-industrial sludge through vermitechnology. *Ecol. Eng.* 36, 1028-1036.
- Urrestarazu, G. M. 2000 Manual de cultivos si suelo. 2da. Edición. Editorial Mundi Prensa. Almería, España. pp 137-183.

- Urrestarazu, M., Martínez, G.A., Salas, M. C. 2005. Almond shell waste: possible local rockwool substitute in soilless crop culture. *Scientia Horticulturae* 103, 453-460.
- Vargas, T. P., Castellanos, R. J. Z., Sánchez, G. P., Tijerina, C. L., López, R. R. M. & Ojodeagua, A. J. L. 2008. Caracterización física, química y biológica de sustratos de polvo de coco. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(4) 375-381.
- Watanabe, F. S. and Olsen, S. R. 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water an  $\text{NaHCO}_3$  extracts from soil. *Soil. Sci. Soc. Proc.* 29, 677-678.
- Zayed, G., Abdel-Motal, H. 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.

#### **Capítulo IV. Conclusiones generales**

Los resultados obtenidos en la presente investigación muestran el potencial de los residuos de bagazo de maguey mezcalero y bagazo de caña de azúcar composteados e inoculados, como sustratos alternativos a los convencionales para la producción de hortalizas de importancia regional como lo es el chile de onza.