

# USO DE COMPOSTAS Y VERMICOMPOSTAS PARA LA PRODUCCIÓN DE TOMATE ORGÁNICO EN INVERNADERO

Efraín de la Cruz-Lázaro, Rodolfo Osorio-Osorio, Eusebio Martínez-Moreno, Alejandro J. Lozano del Río, Armando Gómez-Vázquez y Rufo Sánchez-Hernández

## RESUMEN

Una alternativa en la agricultura orgánica es la utilización de sustratos orgánicos. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de tres compostas y tres vermicompostas mezcladas en diferentes proporciones (100, 75 y 50%) con arena, sobre el rendimiento y calidad de tomate, bajo condiciones de invernadero. Se utilizó el híbrido SUN-7705 de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Los 18 tratamientos se distribuyeron en un diseño completamente al azar con arreglo factorial 6x3 con cinco repeticiones en dos fechas de siembra. Se detectaron diferencias estadísticas entre fechas de siembra ( $p \leq 0,01$ ). Los resultados indican que las mejores siete mezclas fueron vermicomposta de estiércol de ganado vacuno + rastrojo de maíz + tierra negra (VEMT) 75% + arena; vermicomposta de estiércol

de ganado vacuno + pasto bahía (*Paspalum notatum* Flügge) + tierra negra (VEPT) 100, 75 y 50% + arena; vermicomposta de estiércol de ganado vacuno + rastrojo de maíz + tierra negra (VEMT) 50% + arena; y vermicomposta de estiércol de ganado vacuno + rastrojo de maíz + zacate elefante (*Pennisetum purpureum* Schumacher; VEMZT) 100 y 75% + arena; con una media de 54,527 t·ha<sup>-1</sup>. Los frutos de mayor tamaño se obtuvieron con la vermicomposta VEMT 75% + arena. El mayor contenido de sólidos solubles, se obtuvo con la mezcla VEPT 100% con 5,34°Brix. Se concluye que se obtiene mayor rendimiento utilizando sustratos orgánicos con respecto al obtenido en producciones de tomate orgánico en campo, sin afectar la calidad del fruto.

## Introducción

La producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en condiciones protegidas incrementa el rendimiento y la calidad de fruto. La superficie empleada para cultivos en invernadero en México asciende a 6000ha y crece anualmente en un 25%; de esta superficie, 3450ha se destinan a la producción de tomate (Rodríguez *et al.*, 2008). Por otro lado, la superficie empleada en sistemas de producción orgánica ascendió a 380ha en 2004, con rendimientos promedio de 10t·ha<sup>-1</sup> y con un precio 5,84 veces mayor que el tomate convencional (SAGARPA, 2005). Los siste-

mas de producción varían en cuanto a variedades, sustratos de crecimiento, densidad, fecha de siembra, dosis de nutrientes, y técnicas de control de plagas y enfermedades, entre otros factores. Al respecto, Dodson *et al.* (2002) mencionan que la diferencia entre la producción en invernadero de tomate convencional con respecto a la orgánica, varía en el tipo de sustrato, las prácticas de fertilización y el método de control fitosanitario. Cabe señalar que la producción en invernadero elimina algunos de los problemas de la agricultura orgánica, ya que se garantizan frutos durante todo el año, se evitan factores ambientales adversos y, sobre

todo, aumentan las ganancias con relación a la producción en campo (Márquez *et al.*, 2008).

Los consumidores están cada vez más interesados en el consumo de alimentos inocuos, en especial los degustados en fresco, como las hortalizas, prefiriendo aquellos libres de agroquímicos y con alto valor nutricional, sin deterioro de la armonía con el medio ambiente (Márquez y Cano, 2005). Una opción para la generación de estos alimentos, es la producción orgánica, sistema de producción agrícola en el cual no se utilizan fertilizantes, ni plaguicidas sintéticos (IFOAM, 2003; Márquez-Hernández *et al.*, 2006). Debido a la aceptación de los productos

orgánicos, la superficie destinada a su producción ha registrado a nivel mundial tasas de crecimiento de mayores de 25% anual (Harring *et al.*, 2001).

Las compostas y vermicompostas son residuos orgánicos parcialmente degradados y estabilizados, ampliamente utilizados como sustratos en la producción de hortalizas, debido a que se ha reportado que la composta mejora la capacidad de almacenamiento de agua, mineralización del N, P y K, regula favorablemente el pH y fomenta la actividad microbiana (Nieto-Garibay *et al.*, 2002). En tanto, la vermicomposta es un producto obtenido a partir de la materia orgánica enriquecida

**PALABRAS CLAVE / Abono Orgánico / Agricultura Orgánica / Cultivo Protegido / *Eisenia foetida* / *Solanum lycopersicum* L. /**

Recibido: 07/10/09. Modificado: 17/03/2010. Aceptado: 18/03/2010.

**Efraín de la Cruz-Lázaro.** Ingeniero Agrónomo Fitotecnista, Maestro en Ciencias en Producción Agronómica y Doctor en Ciencias en Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" (UAAAN), México. Profesor-Investigador, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), México. Dirección: email: eclazaro@hotmail.com

**Rodolfo Osorio-Osorio.** Ingeniero Agrónomo en Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo (UACH), México. Maestro y Doctor en Ciencias en Entomología y Acarología, Colegio de Postgraduados (COLPOS), México. Profesor-Investigador, UJAT, México.

**Eusebio Martínez-Moreno.** Ingeniero Agrónomo Fitotecnista, Maestro en Ciencias en Fruticultura, Doctor en Ciencias en

Horticultura, UACH, México. Profesor-Investigador, UAJT, México.

**Alejandro J. Lozano del Río.** Biólogo, Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Maestría en Fitomejoramiento y Doctorado en Ciencias Agrícolas, UAAAN, México. Profesor-Investigador, UAAAN, México.

**Armando Gómez-Vázquez.** Ingeniero Agrónomo Zootecnista,

UACH, México. Maestro y Doctor en Ciencias en Nutrición de Rumiantes, COLPOS, México. Profesor Investigador, UAJT, México.

**Rufo Sánchez-Hernández.** Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, Maestro en Ciencias en Recursos Genéticos y Productividad, y Doctor en Ciencias en Edafología, COLPOS, México. Profesor-Investigador, UAJT, México.

## USE OF COMPOSTS AND VERMICOMPOSTS FOR THE ORGANIC PRODUCTION OF TOMATO IN GREENHOUSES

Efraín de la Cruz-Lázaro, Rodolfo Osorio-Osorio, Eusebio Martínez-Moreno, Alejandro J. Lozano del Río, Armando Gómez-Vázquez and Rufo Sánchez-Hernández

### SUMMARY

The use of organic substrates is an alternative in sustainable agriculture. The objective of this work was to evaluate the effect of three composts and three vermicomposts mixed at three different proportions (100, 75 and 50%) with sand, in the tomato fruit yield under greenhouse conditions. The tomato (*Solanum lycopersicum* L) hybrid SUN-7705 was used. A 6x3 factorial arrangement was used. The 18 treatments were distributed in a randomized design with five replicates in two sowing dates. Significant differences ( $p \leq 0,01$ ) were detected among sowing dates. The results indicated that the best seven mixtures were vermicompost of cattle manure + corn stover + black earth (VEMT) 75% + sand; vermicompost of cattle manure + bahiagrass (Pas-

palum notatum Flüggé) + black earth (VEPT) 100, 75 y 50% + sand; vermicompost of cattle manure + corn stover + black earth (VEMT) 50% + sand; and vermicompost of cattle manure + corn stover + elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schumacher) + black earth (VEMZT) 100 and 75% + sand, with an average of 54.527ton-ha<sup>-1</sup>. Larger fruits were obtained with vermicompost VEMT 75% + sand. The highest concentrations of soluble solids was observed in VEPT 100% with 5,34°Brix. It is concluded that better yields are obtained using organic substrate than those resulting from tomato organic production in the field, without affecting fruit quality.

## USO DE COMPOSTAGEM E VERMICOMPOSTAGEM PARA A PRODUÇÃO DE TOMATE ORGÂNICO EM ESTUFA

Efraín de la Cruz-Lázaro, Rodolfo Osorio-Osorio, Eusebio Martínez-Moreno, Alejandro J. Lozano del Río, Armando Gómez-Vázquez e Rufo Sánchez-Hernández

### RESUMO

Uma alternativa na agricultura orgânica é a utilização de substratos orgânicos. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito de três compostagens e três vermicompostagens misturadas em diferentes proporções (100, 75 e 50%) com areia, sobre o rendimento e qualidade de tomate, sob condições de estufas. Utilizou-se o híbrido SUN-7705 de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Os 18 tratamentos foram distribuídos em um desenho completamente aleatório com arranjo fatorial 6'3 com cinco repetições em duas datas de plantação. Detectaram-se diferenças estatísticas entre datas de plantação ( $p \leq 0,01$ ). Os resultados indicam que as melhores sete misturas foram vermicompostagem de esterco de gado bovino + palha de milho + terra adubada (VEMT) 75% + areia; vermicompostagem de

esterco de gado bovino + grama-forquilha (*Paspalum notatum* Flüggé) + terra adubada (VEPT) 100, 75 e 50% + areia; vermicompostagem de esterco de gado bovino + palha de milho + terra adubada (VEMT) 50% + areia; e vermicompostagem de esterco de gado bovino + palha de milho + capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schumacher; VEMZT) 100 e 75% + areia; com uma média de 54527t-ha<sup>-1</sup>. Os frutos de maior tamanho foram obtidos com a vermicompostagem VEMT 75% + areia. O maior conteúdo de sólidos solúveis, foi obtido com a mistura VEPT 100% com 5,34°Brix. Conclui-se que se obtêm maior rendimento utilizando substratos orgânicos em relação ao obtido em produções de tomate orgânico no campo, sem afetar a qualidade do fruto.

como resultado de una serie de transformaciones bioquímicas y microbiológicas al pasar por el tracto digestivo de lombrices. Ambos sustratos orgánicos permiten satisfacer la demanda nutricional de los cultivos hortícolas en invernadero, y reducen significativamente el uso de fertilizantes sintéticos. Además, contienen sustancias activas que actúan como reguladores de crecimiento, elevan la capacidad de intercambio catiónico (CIC), tienen alto contenido de ácidos húmicos, y aumentan la capacidad de retención de humedad y porosidad, facilitando la aireación y el drenaje (Rodríguez *et al.*,

2008). Desde el punto de vista económico es atractivo el uso de sustratos orgánicos, ya que permite reducir los costos derivados de la fertilización química ~10% (Trápaga y Torres, 1994). Al respecto, Moreno *et al.* (2005) propusieron el uso de mezclas de vermicomposta y arena como sustrato en la producción de tomate en invernadero, mientras que Raviv *et al.* (2005) señalaron que los nutrientes contenidos en la composta satisfacen los requerimientos del tomate durante cuatro meses. En general, se ha observado que bajo condiciones de invernadero se obtienen mayores rendimientos de tomate; es

decir, la producción orgánica aumenta la relación beneficio-costo (Márquez *et al.*, 2008). Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar mezclas de diferentes compostas y vermicompostas con arena como sustrato en el cultivo de tomate orgánico bajo condiciones de invernadero.

### Materiales y Métodos

El experimento se llevó a cabo en la División Académica de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, ubicada en el municipio de Centro, Tabas-

co, México; a los 17°46'56"N y 92°57'28"O, y 21msnm. El experimento se estableció en un invernadero tipo Megavent tropical de 200m<sup>2</sup>, con cubierta lateral de malla antiáfidos, pantalla termoreflexiva tipo luminet con 35% de sombra, y malla Grown Cover de color negro para impedir el crecimiento de malezas.

Las compostas (C) y vermicompostas (V) utilizadas fueron formuladas a partir de residuos orgánicos de fácil adquisición en la región, a saber, 1) EPT: estiércol de ganado vacuno + pasto bahía (*Paspalum notatum* Flüggé) + tierra negra (1:1:1);

2) EMT: estiércol de ganado vacuno + rastrojo de maíz (*Zea mays* L.) + tierra negra (1:1:1); y 3) EMZT: estiércol de ganado vacuno + rastrojo de maíz + zacate elefante (*Pennisetum purpureum* Schumacher) + tierra negra (1:1:1:1). Estas mezclas se precompostearon durante 40 días y posteriormente cada mezcla se dividió en dos partes. En una parte se continuó el proceso de compostaje, y como parte del manejo se realizaron volteos aeróbicos semanales y riegos cada tercer día, con lo cual se garantizaron las condiciones para una adecuada descomposición y transformación de los residuos (Defrieri *et al.*, 2005). A la otra parte de las mezclas de residuos le fueron inoculadas lombrices de la especie *Eisenia foetida* a densidad de 600 adultos por cada 0,03m<sup>3</sup> de mezcla (Durán y Henríquez, 2007), la cual fue regada a fin de mantener una humedad entre el 60 y 70%. Las compostas y vermicompostas fueron producidas bajo techo de lámina de asbesto y en piso de cemento, con la finalidad de evitar pérdidas de humedad y lixiviado de nutrientes. La cosecha de ambos sustratos se realizó a los 120 días por medio de cribado (Ferruzzi, 1994).

La caracterización de las compostas y vermicompostas incluyó el análisis de conductividad eléctrica (CE) en extracto acuoso (relación sustrato:agua 4:1; Santamaría-Romero *et al.*, 2001); pH en extracto acuoso

(relación sustrato:agua 1:2); P fue determinado por colorimetría, y K, Ca y capacidad de intercambio catiónico (CIC) por espectrofotometría de absorción y emisión atómica (Skoog *et al.*, 2001). A partir del C orgánico (Walkey y Black) y N total (semimicro Kjeldahl) se calculó la relación C/N (León y Aguilar, 1987).

Como material vegetativo se utilizó el genotipo de tomate SUN 7705, de la compañía Nunhems®, tipo saladette, de crecimiento indeterminado y vida media de anaquel de cuatro a cinco semanas. Para la obtención de las plántulas se realizaron almácigos en dos fechas, la primera el 19/09 y la segunda el 15/10 de 2007, en charolas de 200 cavidades con *peat moss* como medio de crecimiento. El trasplante se realizó el 15/10 y el 12/11. En ambas fechas de siembra, la densidad fue de cuatro plantas por m<sup>2</sup>, con una planta por bolsa. Como maceta se utilizaron bolsas de polietileno negro de 20x45cm con capacidad de ~20 l, las cuales se llenaron con 12kg de cada mezcla de sustrato y arena. El sistema de cultivo fue a un tallo, con podas semanales. El manejo fitosanitario se realizó con aplicaciones de Bio-Die® (tricarboxilos vegetales) y Protek® (derivados de ácidos de la extracción de aceites vegetales) en etapas preventivas a la aparición de enfermedades, insumos que son aprobados por las nor-

mas para productos orgánicos (IFOAM, 2003). Se utilizó un sistema de riego por goteo para aplicar tres riegos diarios, cuyo volumen por día varió con la etapa del cultivo de 0,7 l por maceta en la etapa de trasplante hasta el inicio de la floración, a 2,0 l por bolsa de la floración a la cosecha.

En las dos fechas de siembra se utilizó un diseño de tratamientos completamente al azar con arreglo factorial 6x3 con cinco repeticiones, en donde el primer factor fue el tipo de sustrato (CEPT, CEMT, CEMZT, VEPT, VEMT y VEMZT) mientras que el segundo factor fueron los niveles de 100, 75 y 50% de peso de sustrato. El porcentaje faltante para completar 12kg en la bolsa fue cubierto con arena de río como medio inerte, que fue lavado y esterilizado con una solución 5% de hipoclorito de sodio. Se generaron 18 tratamientos por fecha de siembra y el cultivo fue regado periódicamente con agua de pozo sin adición de fertilizantes. Como tratamiento testigo se utilizó piedra blanca porosa de origen volcánico (tepetzil) regado con la solución nutritiva de Zaidan con las modificaciones propuestas por Rodríguez *et al.* (2008). Desde el inicio de la floración y hasta el amarre del quinto racimo, diariamente se polinizaron manualmente las flores, entre las 8:00 y 10:00. La cosecha de frutos se realizó del primero al quinto racimo.

La calidad del agua de riego fue caracterizada en términos de pH por potenciometría, conductividad eléctrica (CE) por puente de conductividad, HCO<sub>3</sub> y CO<sub>3</sub> por volumetría de neutralización, Cl por argentometría, SO<sub>4</sub> por turbidimetría, y bases intercambiables (K, Ca, Mg y Na) por espectrofotometría de absorción y emisión atómica (Etchevers, 1988). Con la concentración de las bases se calculó la relación de adsorción de sodio (RAS), y junto con la CE se determinó la clasificación de la calidad de agua, de acuerdo al sistema propuesto por USLS (Olias *et al.*, 2005).

Se evaluaron las variables rendimiento total (Rend) en t·ha<sup>-1</sup>, que consistió en el peso de todos los frutos contenidos en la planta por el número de plantas por m<sup>2</sup>. La calidad de fruto se muestreó en tres frutos tomados al azar de cada racimo, a los cuales se midieron el diámetro polar (DP) y el diámetro ecuatorial (DE), en mm, con un calibrador electrónico digital (Truper® CALDI-6MP); los días a floración (DF), en días contados desde la siembra de la semilla en las charolas germinadoras, hasta que todas las flores del primer racimo estaban abiertas; y contenido de sólidos solubles en °Brix, medidos en una gota de jugo del fruto con un refractómetro (ATAGO ARG-1E®). Los frutos se pesaron en una báscula digital (PS-5 Torrey). Los datos obtenidos se analizaron mediante análisis de varianza y la prueba de comparación múltiple de medias de (0,01) con el paquete estadístico SAS versión 9,1.

## Resultados y Discusión

La caracterización nutricional de los sustratos se presenta en la Tabla I, donde se observa que la conductividad eléctrica de todos los sustratos fue inferior a 3dS·m<sup>-1</sup>, lo cual es permisible para sustratos orgánicos (Soumaré *et al.*, 2002; Castillo *et al.*, 2004). La relación C/N tuvo valores de 10,31 a 14,45, que corresponden a los sustratos CEPT y CEMT, respectivamente. La relación C/N proporciona una estimación directa de

TABLA I  
ANÁLISIS QUÍMICO DE COMPOSTAS Y VERMICOMPOSTAS

Sustrato	Componentes y concentración								
	CE (dS·m <sup>-1</sup> )	C/N	pH	MO (%)	N	P (mg·kg <sup>-1</sup> )	K (Cmol(+)-kg <sup>-1</sup> )	Ca	CIC
CEPT	1,90	10,31	6,30	10,22	0,35	510	7,52	16,80	20,30
CEMT	1,71	14,45	6,24	11,96	0,51	328	5,22	17,00	20,30
CEMZT	1,53	10,74	6,81	23,33	1,10	704	8,78	23,40	22,80
VEPT	1,90	10,79	6,74	10,93	0,48	528	9,70	20,20	29,07
VEMT	1,80	14,30	6,67	11,60	0,50	425	6,80	17,90	25,70
VEMZT	1,92	11,21	6,84	20,30	1,05	375	8,62	24,56	28,79

CE: conductividad eléctrica, C/N: relación carbono-nitrógeno, MO: materia orgánica, CIC: capacidad de intercambio catiónico, CEPT: composta de estiércol de ganado vacuno + pasto bahía (*Paspalum notatum* Flüggé) + tierra negra (1:1:1, V:V:V), CEMT: composta de estiércol de ganado vacuno + rastrojo de maíz (*Zea mays* L.) + tierra negra (1:1:1, V:V:V), CEMZT: composta de estiércol de ganado vacuno + rastrojo de maíz (*Zea mays* L.) + zacate elefante (*Pennisetum purpureum* Schumacher) + tierra negra (1:1:1:1, V:V:V:V), VEPT: vermicomposta de estiércol de ganado vacuno + zacate bahía (*Paspalum notatum* Flüggé) + tierra negra (1:1:1, V:V:V), VEMT: vermicomposta de estiércol de ganado vacuno + rastrojo de maíz (*Zea mays* L.) + tierra negra (1:1:1, V:V:V), VEMZT: vermicomposta de estiércol de ganado vacuno + rastrojo de maíz (*Zea mays* L.) + zacate elefante (*Pennisetum purpureum* Schumacher) + tierra negra (1:1:1:1, V:V:V:V).

las fracciones biológicamente degradables de C y N en los sustratos orgánicos (Defrieri *et al.*, 2005) y también se la utiliza como índice de la velocidad de descomposición del sustrato y la posterior mineralización de sus nutrientes. Al respecto, Bernal *et al.* (1998) y Castro *et al.* (2009) mencionan que la relación C/N debe ser <20; mientras que Day y Shaw (2001) proponen un valor de para C/N entre 10 y 20 como aceptable para sustratos orgánicos. Todos los sustratos utilizados tuvieron valores de C/N aceptables. En estudios realizados por Durán y Henríquez (2007), donde se trabajo con mezclas de diferentes materiales iniciales, los autores encontraron una alta variabilidad en la relación C/N de los productos finales, lo cual comprueba que la materia prima es responsable de la calidad final de sustrato orgánico. El pH de los sustratos osciló entre 6,24 y 6,84, que se considera adecuado para sustratos orgánicos, que deben tener un pH entre neutro y ligeramente ácido (Castillo *et al.*, 2004; Castillo *et al.*, 2005). El contenido de MO de los sustratos varió de 10,22 a 23,33%, correspondiendo los mayores contenidos de MO a los sustratos CEMZT (23,33%) y VEMZT (20,30%), lo cual se puede deber a que estos sustratos contenían en su elaboración dos fuentes de residuos vegetales (rastrajo de maíz y zacate elefante). Varios autores indican rangos amplios para contenidos de MO en sustratos orgánicos producidos con diferentes residuos orgánicos, los cuales van desde 8,6 a 59,81% (Moreno *et al.*, 2005; Durán y Henríquez, 2007; Hernández *et al.*, 2008; Márquez *et al.*, 2008).

El N total varió entre 0,35 y 1,10%, sobresaliendo los sustratos VEMZT (1,05%) y CEMZT (1,10%) con los mayores contenidos, aunque todos los sustratos tienen contenidos que se encuentran dentro del rango reportado para sustratos orgánicos por autores como Durán y Henríquez (2007); Rodríguez *et al.* (2008) y De la Cruz-Lázaro *et al.* (2009). La CIC osciló entre 20,30 y 29,07 correspondiendo los mayores valores de CIC a los sustratos VEMZT

(28,79Cmol(+)-kg<sup>-1</sup>) y VEPT (29,07Cmol(+)-kg<sup>-1</sup>). La CIC de la fracción orgánica se utiliza en el estudio de suelos para evaluar el grado de humificación producida por grupos funcionales que la incrementan, siendo razonable esperar que un proceso similar ocurra en los sustratos orgánicos (Pereira y Zezzi-Arruda, 2004). Este resultado indica que los sustratos VEMZT y VEPT fueron los de mayor transformación de sus residuos iniciales en MO y en consecuencia puede haber mayor mineralización y disponibilidad de nutrientes.

En la Tabla II se observa una CE de 1,68dS·m<sup>-1</sup> y una RAS de 4,1 que clasifican al agua como C3S1 de acuerdo a la USLS, quedando definida como un agua cuyo uso representa un alto riesgo de salinidad y bajo riesgo de sodicidad (Olias *et al.*, 2005). Sin embargo, de acuerdo a los lineamientos para riego y calidad de agua de la FAO, con los valores registrados el nivel de restricción del agua es ligero o moderado, siendo los principales problemas potenciales la salinidad y la infiltración (Ayers y Westcot, 1994).

En el análisis de varianza (Tabla III) se encontraron diferencias estadísticas para la fuente de variación (FV) en fechas de siembra (FS), en rendimiento de fruto (p<0,01) y diámetro ecuatorial (p<0,05). Ello indica que la FS influye en el rendimiento y tamaño de fruto, lo que se puede deber al efecto negativo de las temperaturas extremas medias dentro del invernadero, que fueron de 23 y 37°C al final de la segunda fecha de siembra. Para las fuentes de variación sustrato e interacción sustrato×arena (S×A), se encontraron diferencias significativas (p<0,01) para rendimiento de fruto, contenido de sólidos solu-

bles, diámetro polar y diámetro ecuatorial, indicando que el tipo de sustrato y la interacción de sustrato y arena influyeron sobre el rendimiento de tomate, contenido de sólidos solubles y tamaño de fruto, y que las diferencias estadísticas detectadas pudieron deberse al contenido de elementos nutritivos de los sustratos utilizados.

La Tabla IV muestra la comparación de medias de sustratos, contenido de sustrato y fecha

de siembra. El rendimiento de tomate en los sustratos vermicomposteados (VEPT, VEMT y VEMZT) fue superior (p<0,01) al rendimiento de los sustratos composteados (CEPT, CEMT y CEMZT); presentando el sustrato VEPT el mayor rendimiento (54,156t·ha<sup>-1</sup>). Al respecto, Subler *et al.* (1998) mencionaron que los mayores rendimientos que se obtienen con las vermicompostas no son una simple función de los contenidos nutri-

TABLA II  
ANÁLISIS QUÍMICO DEL AGUA UTILIZADA PARA REGAR

pH	CE (ds·m <sup>-1</sup> )	HCO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	K	Ca	Mg	Na
					(Meq·l <sup>-1</sup> )				
6,95	1,68	4,56	0,54	13,50	ND	0,23	4,55	1,34	7,57

CE: conductividad eléctrica, ND: no detectado.

TABLA III  
CUADRADOS MEDIOS DEL ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LAS VARIABLES EVALUADAS EN EL CULTIVO DE TOMATE BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO EN SUSTRATOS ORGÁNICOS

FV	GL	Rend	DAF	°Brix	DP	DE
Fechas de siembra	1	377748525 **	56,45 ns	0,162 ns	0,001 ns	0,373 *
Sustrato (S)	5	698710201 **	37,78 ns	0,877 **	0,745 **	4,446 **
Arena (A)	2	170038852 **	1,20 ns	0,492 *	0,152 ns	0,709 **
S × A	10	102138348 **	2,91 ns	0,313 **	0,409 **	0,244 **
Error	161	18831249	3,12	0,148	0,110	0,079
CV		8,9	3,31	8,0	5,2	5,6

FV: fuente de variación, GL: grados de libertad, Rend: rendimiento de fruto, DAF: días a floración, DP: diámetro polar, DE: diámetro ecuatorial, \*\*: diferencias altamente significativas, \*: diferencias significativas, ns: no significativo.

TABLA IV  
COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA SUSTRATO, CONTENIDO DE SUSTRATO Y FECHA DE SIEMBRA

	Rend	DAF	DP	DE	°Brix
Sustrato					
CEPT	43,963 b	53,3 a	63,7 ab	46,3 c	4,63 ab
CEMT	44,032 b	53,7 a	62,2 b	46,3 c	4,55 b
CEMZT	44,998 b	52,4 a	62,8 b	46,6 c	4,85 ab
VEPT	54,156 a	53,5 a	66,5 a	50,7 b	4,91 a
VEMT	51,047 a	52,9 a	65,3 ab	52,0 b	4,93 a
VEMZT	52,967 <sup>a</sup> a	53,5 a	64,2 ab	55,7 a	4,96 a
DMS	4,300	1,4	0,32	0,26	0,35
Contenido de sustrato					
100 %	48,417 ab	52,9 a	64,1 a	49,2b	4,91 a
75 %	50,475 a	54,0 a	64,2 a	50,9 a	4,73 a
50 %	47,139 b	52,8 a	64,0 a	48,8 b	4,79 a
DMS	2,625	1,2	0,19	0,16	0,21
Fechas de siembra					
PFS	50,125 a	54,0 a	6,41 a	4,92 a	4,84 a
SFS	47,228 b	53,4 a	6,41 a	5,01 a	4,78 a
DMS	1,891	0,80	0,14	0,12	0,15

DMS: diferencia mínima significativa. PFS: primera fecha de siembra, SFS: segunda fecha de siembra. Letras iguales en una misma columna indican que no hay diferencias estadísticas entre tratamientos por la prueba de Tukey (p<0,01).

cionales, sino que influyen otros factores, como la actividad microbiana, metabolitos biológicamente activos y reguladores de crecimiento, lo cual puede ocasionar mayor disponibilidad de nutrientes. De esta forma, la vermicomposta es una opción adecuada como medio de crecimiento de especies vegetales bajo condiciones de invernadero. Para días a floración no se detectaron diferencias estadísticas entre los sustratos, lo cual indica que los sustratos vermicomposteados y composteados no influyeron en la floración. Para diámetro polar se tuvieron diferencias estadísticas entre sustratos, presentando el mayor diámetro polar (66,5mm) el sustrato VEPT, aunque fue similar al diámetro de los sustratos VEMT, VEMZT y CEPT.

El diámetro ecuatorial varió de 46,3 a 55,7mm, observándose el mayor valor ( $p<0,01$ ) en VEMZT. Para contenido de sólidos solubles se encontró que las vermicompostas (VEPT, VEMT y VEMZT) tuvieron mayores contenidos de sólidos solubles, pero fueron similares al contenido de los sustratos CEPT y CEMZT.

Para contenido de sustrato mezclado con arena, los mayores rendimientos los tuvieron las mezclas de 75% de sustrato + 25% de arena, lo cual coincide con Márquez *et al.* (2008), quienes encontraron que mezclas de vermicomposta 50% + arena; vermicomposta 50% + perlita; y compost 72,5% + arena tuvieron rendimientos estadísticamente iguales al testigo, a diferencia de lo reportado por Subler *et al.* (1998), quienes observaron que el mejor desarrollo del cultivo de tomate se obtuvo con proporciones entre 10 y 20% de sustrato orgánico. También Atiyeh *et al.* (2000) señalan que al usar más de 20% de sustrato disminuye el rendimiento de tomate. El mayor rendimiento de las mezclas de sustratos al 75% + arena se puede atribuir al tipo de materia prima utilizada para elaborar las compostas y vermicompostas, lo cual posiblemente afecta el contenido de elementos

TABLA V  
COMPARACIÓN DE MEDIAS DE MEZCLAS DE SUSTRATO Y ARENA PARA LAS VARIABLES EVALUADAS

Sustrato	Mezcla		Rend	DAF	DP	DE	°Brix
	%sustrato	%arena					
CEPT	100	0	44,970 defg	52,2 a	64,5 abc	45,8 d	4,77 ab
CEPT	75	25	45,331 defg	55,0 a	63,0 abc	47,0 cd	4,46 b
CEPT	50	50	41,590 fg	52,8 a	63,6 abc	46,3 d	4,68 ab
CEMT	100	0	40,499 g	53,6 a	62,9 abc	46,0 d	4,58 b
CEMT	75	25	45,452 defg	54,2 a	60,9 c	46,7 d	4,56 b
CEMT	50	50	46,146 defg	53,4 a	62,8 abc	46,3 d	4,90 ab
CEMZT	100	0	48,309 bcdefg	52,6 a	63,9 abc	47,2 cd	4,99 ab
CEMZT	75	25	44,710 efg	53,0 a	63,6 abc	46,6 d	4,67 ab
CEMZT	50	50	41,974 fg	51,8 a	61,0 c	46,1 d	4,90 ab
VEPT	100	0	54,003 abc	53,8 a	67,4 ab	48,1 cd	5,34 a
VEPT	75	25	55,662 ab	53,0 a	67,1 ab	54,8 ab	4,66 ab
VEPT	50	50	52,805 abcd	53,8 a	64,9 abc	49,1 cd	4,74 ab
VEMT	100	0	46,836 cdefg	52,6 a	62,5 bc	51,8 abc	4,81 ab
VEMT	75	25	57,375 a	54,4 a	68,6 a	54,3 ab	5,04 ab
VEMT	50	50	51,631 abcde	51,8 a	64,8 abc	49,9 bcd	4,93 ab
VEMZT	100	0	55,886 ab	52,8 a	63,4 abc	56,5 a	4,94 ab
VEMZT	75	25	54,325 abc	54,6 a	62,5 bc	55,7 a	4,97 ab
VEMZT	50	50	48,689 bcdef	53,2 a	66,7 abc	55,0 a	4,97 ab
Testigo	Fertirriego		61,488	62,2	68,2	51,0	4,50
Media	Mezclas		48,677	53,2	64,1	49,6	4,81
DMS			7,853	3,2	0,60	0,51	0,69

DMS: diferencia mínima significativa. Letras iguales en una misma columna indican que no hay diferencias estadísticas entre tratamientos por la prueba de Tukey ( $p<0,01$ ).

químicos disponibles para las plantas cuando al ser utilizados como medio de crecimiento. Las diferencias también se pueden deber a que Atiyeh *et al.* (2000) aplicaron vermicomposta originada a partir de estiércol de cerdo, mientras que en el presente trabajo se evaluaron compostas y vermicompostas elaboradas con dos o tres tipos de materia prima además del estiércol de ganado vacuno. Para el diámetro ecuatorial se encontró que con 75% de sustrato se tiene el mayor diámetro ( $p<0,01$ ). En cuanto a la fecha de siembra, el mayor rendimiento se obtuvo en la primera fecha de siembra, lo cual indica que para el cultivo de tomate bajo invernadero en el estado de Tabasco, la siembra en septiembre permite obtener 2897ton más de tomate que la siembra en octubre.

Los resultados del presente estudio concuerdan con lo señalado por Atiyeh *et al.* (2000) y por Moreno *et al.* (2005), quienes destacan que los sustratos orgánicos favorecen el desarrollo de los cultivos en invernadero cuando son utilizados como sustratos de crecimiento, y que las diferencias detectadas en las variables evaluadas se deben a

la riqueza en el contenido de elementos nutritivos (Durán y Henríquez, 2007) y a la naturaleza de sus comunidades microbianas (Atiyeh *et al.*, 2000). El tratamiento testigo con tepetzil y adición de fertilizantes químicos superó en un 26,3% a la media general de 48,677t·ha<sup>-1</sup> obtenida en los sustratos orgánicos. Sin embargo, el uso de fertilizantes inorgánicos no está permitido en la normativa para la producción orgánica, además de incrementar los costos de producción, por lo que los resultados observados en el presente estudio se sugieren como adecuados para probarse en trabajos posteriores. El mayor rendimiento del testigo, con respecto a las mezclas de sustrato y arena fue referido por Rodríguez *et al.* (2008), Márquez *et al.* (2008) y De La Cruz-Lázaro *et al.* (2009), quienes encontraron mayor rendimiento en los sistemas de producción inorgánica. Al respecto, Stacey (2004) menciona que en la agricultura orgánica el rendimiento se reduce entre 10 y 30% respecto a la agricultura convencional. No obstante, la disminución en el rendimiento observada en los tratamientos con base en las mezclas de sustratos orgánicos

con arena puede ser compensada por el sobreprecio que tiene el tomate orgánico, que es de ~5,84 veces el precio del tomate obtenido con el manejo convencional (SAGARPA, 2005).

En la Tabla V se observa que la mezcla VEMT 75% + arena, presentó el mayor rendimiento de fruto con 57,375t·ha<sup>-1</sup>, aunque fue similar al rendimiento presentado por las mezclas VEPT 100, 75 y 50% + arena, VEMT 50% + arena y VEMZT 100 y 75% + arena. Las siete mezclas sobresalientes, e iguales estadísticamente, tuvieron una media de 54,527t·ha<sup>-1</sup>, es decir 34,30% más que las 40,594t·ha<sup>-1</sup> reportadas para producciones de tomate orgánico bajo invernadero en Tabasco (De La Cruz-Lázaro *et al.*, 2009) y superior a las 17t·ha<sup>-1</sup> reportadas para tomate orgánico producido a cielo abierto (Navejas, 2002).

Para días a floración (DAF) no se encontraron diferencias estadísticas entre las diferentes mezclas de sustrato, oscilando entre 51,8 y 55 días la floración en las mezclas de sustrato y arena, lo cual indica que todas las mezclas de sustrato y arena, tuvieron días similares a floración. Las mezclas de sustratos tuvieron una media de 53,2 días y en el testigo la floración fue de 62,2 días, presentando una precocidad promedio de 9 días los sustratos orgánicos. Para diámetro polar los valores medios estuvieron entre 60,9 y 68,6mm, presentando la mezcla VEMT 75% + arena el mayor diámetro polar ( $p<0,01$ ), que fue similar a otras 14 mezclas de sustratos. El diámetro ecuatorial, entre 45,8 y 56,5mm, presentó el mayor valor en VEMZT 100%, que es estadísticamente similar al observado en las mezclas VEMZT 75 y 50% + arena, VEPT 75% + arena y VEMT 100 y 75% + arena. De acuerdo a ambos diámetros promedio en las diferentes mezclas de vermicompostas y compostas, todas las mezclas tuvieron tomates de tamaño mediano (Hidalgo *et al.*, 1998).

El contenido de sólidos solubles varió de 4,46 a 5,34°Brix, valores que corresponden a la mezcla CEPT 75% + arena y VEPT 100%, respectivamente. Al respecto, Santiago *et al.* (1998) señalan que el tomate para consumo en fresco debe de contener más de 4,0°Brix, mientras que Hidalgo *et al.*, (1998) mencionan que el tomate destinado a la industria debe tener un mínimo 4,5°Brix. De acuerdo a lo anterior, todas las mezclas produjeron tomates con más de 4°Brix, por lo cual son adecuados para consumo en fresco, mientras que para la industria, solo la mezcla CEPT 75% + arena no alcanzó los 4,5°Brix requeridos. Cabe destacar que el tratamiento VEMT 75% + arena, además de tener el mayor rendimiento de fruto, presentó el mayor diámetro polar y concentración de sólidos solubles, lo que lo hace uno de los tratamientos más atractivos.

## Conclusiones

Los resultados sugieren que el uso de los sustratos orgánicos pudo satisfacer las necesidades del tomate durante el periodo de evaluación bajo condiciones de invernadero. Las siete mejores mezclas fueron VEMT 75% + arena, VEPT 100, 75 y 50% + arena, VEMT 50% + arena y VEMZT 100 y 75% + arena, que alcanzaron un rendimiento medio de 54,527t·ha<sup>-1</sup>, sobresaliendo el obtenido con la mezcla VEMT 75% + arena, que tuvo 57,375t·ha<sup>-1</sup> de fruto. En todas las mezclas se obtuvieron frutos de tamaño mediano, con concentraciones mayores a 4,4°Brix. A pesar que el manejo convencional a base de sustratos inertes y nutrición mineral resultan en rendimientos ~30-34% mayores a los tratamientos propuestos a base de sustratos orgánicos sin soluciones nutritivas, estos últimos son una alternativa viable, debido a que la calidad de fruto se mantiene y el sobreprecio en productos orgánicos mejora la relación costo-beneficio de la producción.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Fondo Mixto CONACYT - Gobierno del Estado de Tabasco por el apoyo económico otorgado al proyecto FOMIX-TAB-2005-C06-14936.

## REFERENCIAS

Atiyeh RM, Domínguez J, Subler S, Edwards CA (2000) Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (Eisenia Andrei, Bouché) and the effects on seedling growth. *Pedobiologia* 44:709-724.

Ayers RS, Westcot DW (1994) *Water Quality for Agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper 29, Rev. 1. FAO. Roma, Italia. 174 pp.

Bernal MP, Paredes C, Sánchez-Monedero MA, Cegarra J (1998) Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresour. Technol.* 63: 91-99.

Castillo AE, Benito SG, Iglesias MC (2005) Influence of earthworms on organic waste composting and characterization of vermicompost end products. *Span. J. Agric. Res.* 3: 145-150.

Castillo JE, Herrera F, López-Bellido RJ, López-Bellido FJ, López-Bellido L, Fernández EJ (2004) Municipal solid waste (MSW) compost as a tomato transplant medium. *Compost Sci. Util.* 21: 86-92.

Castro A, Henríquez C, Bertsch F (2009) Capacidad de suministro de N, P y K de cuatro abonos orgánicos. *Agron. Costarric.* 33: 31-43.

Day M, Shaw K (2001) Biological, chemical and physical processes of composting. En Sotella P, Kahn B (Eds.) *Composting Utilization in Horticultural Cropping Systems*. Lewis. Nueva York, EEUU. pp. 18-22.

Defrieri RL, Jiménez MP, Efron D, Palma M (2005) Utilización de parámetros químicos y microbiológicos como criterios de madurez durante el proceso de compostaje. *Agriscientia* 22: 25-31.

De La Cruz-Lázaro E, Estrada-Botello MA, Robledo-Torres V, Osorio-Osorio R, Márquez-Hernández C, Sánchez-Hernández R (2009) Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato. *Universida y Ciencia* 25: 59-67.

Dodson M, Bachmann J, Williams P (2002) *Organic Greenhouse Tomato Production*. ATTRA. USDA. 16 pp. <http://attra.ncat.org/attra-pub/PDF/ghtomato.pdf> (Cons. 25/07/2009).

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

Etchevers BJ (1988) *Análisis Químico de Suelos y Plantas*. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 212 pp.

Ferruzzi C (1994) *Manuale del Lombricoltura*. Edagricole. Bologna, Italia. 138 pp.

Harring A, Dabbert S, Offerman F, Nirberg H (2001) Benefits of organic farming for society. En *Proc. Conf. Organic Food and Farming: Towards Partnership and Action in Europe* (10-11/05/2001). Danish Ministry of Food and Fisheries. Copenhagen, Dinamarca. pp 80-88.

Hernández MGI, Salgado GS, Palma LDJ, Lagunez ELC, Castelán EM, Ruiz RO (2008) Vinaza y composta de cachaza como fuente de nutrientes en caña de azúcar en un gleysol mólico de Chiapas, México. *Interciencia* 33(11):855-860.

Hidalgo GJC, Alcántar GG, Baca CGA, Sánchez GP, Escalante EA (1998) Efecto de la condición, concentración y pH del fertilizante foliar, sobre el rendimiento y calidad de tomate. *Terra* 16: 143-148.

IFOAM (2003) *Normas para la Producción y Procesado Orgánico*. International Federation of Organic Agriculture Movements. Victoria, Canada. 158 pp.

León AR, Aguilar SA (1987) Materia orgánica. En Aguilar SA, Etchevers BJ, Castellanos RJZ (Eds.) *Análisis Químico para Evaluar la Fertilidad del Suelo*. Publicación Especial 1. Sociedad Mexicana de Ciencias del Suelo. Chapingo, México. 217 pp.

Márquez C, Cano P (2005) Producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Actas Port. Hort.* 5: 219-224.

Márquez HC, Cano RP, Rodríguez DN (2008) Uso de sustratos orgánicos para la producción de tomate en invernadero. *Agric. Téc. Méx.* 34: 69-74.

Márquez-Hernández C, Cano-Ríos P, Chew-Madinaveitia YI, Moreno-Reséndez A, Rodríguez-Dimas N (2006) Sustratos en la producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Rev. Chapingo Ser. Hort.* 12: 183-189.

Moreno RA, Valdés PMT, Zarate LT (2005) Desarrollo de tomate en sustratos de vermicompost/arena bajo condiciones de invernadero. *Agric. Téc.* 65: 26-34.

Navejas JJ (2002) *Producción Orgánica de Tomate*. Despegable Técnica N° 5. CIR-Noreste. INIFAP. México. 5 pp.

Nieto-Garibay A, Murillo-Amador B, Troyo-Diéguez E, Larrinaga-Mayoral JA, García-Hernández JL (2002) El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (*Capsicum annum* L.) en zonas áridas. *Interciencia* 27: 417-421.

Olías M, Cerón JC, Fernández I (2005) Sobre la utilización de la clasificación de las aguas de riego del U.S. Laboratory Salinity (USLS). *Geogaceta* 37: 111-113

Pereira MG, Zezzi-Arruda MA (2003) Vermicompost as a natural adsorbent material: characterization and potentialities for cadmium adsorption. *J. Braz. Chem. Soc.* 14: 39-47.

Raviv M, Oka Y, Katan J, Hadar Y, Yogeve A, Medina S, Krasnovsky A, Ziadna H (2005) High nitrogen compost as a medium for organic container-growth crops. *Bioresour. Technol.* 96: 419-427.

Rodríguez DN, Cano RP, Figueroa YU, Palomo GA, Favela ChE, Álvarez RVP, Márquez HC, Moreno RA (2008) Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato. *Rev. Fitotec. Méx.* 31: 265-272.

SAGARPA (2005). *Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP)*. Sistema de Información Agropecuarias de Consulta (SIACON). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Versión 1.1.

Santamaría-Romero S, Ferrera-Cerrato R, Almaraz-Suárez JJ, Galvis-Spinola A, Barois-Boullard I (2001) Dinámica y relaciones de microorganismos, C-orgánico y N-total durante el composteo y vermicomposteo. *Agrociencia* 35: 377-384.

Santiago J, Mendoza M, Borrego F (1998) Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. *Agron. Mesoam.* 9: 59-65.

Skoog DA, Holler FJ, Nieman TA (2001) *Principios de Análisis Instrumental*. McGraw Hill. 5ª ed. Buenos Aires, Argentina. 1064 pp.

Soumaré M, Demeyer A, Tack FMG, Verloo MG (2002) Chemical characteristics of Malian and Belgian solid waste composts. *Bioresour. Technol.* 81: 97-101.

Stacey SP (2004) *Is Organic Farming Sustainable?* [www.sustainable-farming.info/organic.pdf](http://www.sustainable-farming.info/organic.pdf) (Cons. 25/05/2009).

Subler S, Edwards CA, Metzger J (1998) Comparing vermicomposts and composts. *Biocycle* 39: 63-66.

Trápaga Y, Torres F (1994) *El Mercado Internacional de la Agricultura Orgánica*. UNAM/Juan Pablos. México. 221 pp.