

Impacto de tres frecuencias de riego sobre el comportamiento del tomate desarrollado en sustratos orgánicos

Impact of three irrigation frequencies on the behavior of tomato developed in organic substrates

Alejandro Moreno-Reséndez^{1*}, José Luis Reyes-Carrillo¹,
Norma Rodríguez-Dimas², Cleyver Antonio Rodríguez-Escandón²,
César Márquez-Quiroz³, Rosario Moncayo-Luján⁴

¹Cuerpo Académico Sistemas Sustentables para la Producción Agropecuaria, UAAAN-CA-14, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-UL. ²Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-UL. Periférico Raúl López Sánchez Km 1.5 y Carretera a Santa Fe s/n. Teléfono y Fax: 01-871-729-76-77. E-mail: alejamosa@yahoo.com.mx y alejamosa@hotmail.com [*Autor responsable]. ³Cuerpo Académico Producción Agropecuaria en el Trópico Húmedo, UJAT-CA-209, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. ⁴Cuerpo Académico Ingeniería en Biotecnología y Administración de Negocios Internacionales, UPGOP-CA-1, Universidad Politécnica de Gómez Palacio, Durango.

RESUMEN

Diferentes estudios sugieren que los abonos orgánicos, p. ej., el vermicompost (VC) y el compost (C), como parte de los sustratos de crecimiento, pueden proporcionar elementos nutritivos y retener humedad, al mismo tiempo que favorecen el desarrollo de las especies vegetales. Para validar esta suposición, durante el ciclo P-V 2001 se evaluó en invernadero el efecto de la aplicación de diferentes sustratos de crecimiento y diferentes frecuencias de riego en semillas de tomate. Los tratamientos evaluados (T1-T9) fueron tres mezclas: 1) vermicompost + arena (VC:A; 1:1, v:v), 2) compost + arena (C:A; 1:1, v:v) y 3) vermicompost + compost + arena (VC:C:A; 1:1:2, v:v:v), combinadas con tres frecuencias de riego: 1) diario (RD), 2) cada dos días (RC2D) y 3) cada tres días (RC3D). Las semillas se sembraron en charolas de polietileno de 200 cavidades, rellenas con peat moss, que se trasplantaron en bolsas de plástico negro de 18 L, 34 días después de siembra. El experimento duró 144 días después del trasplante. El efecto de los tratamientos sobre el desarrollo del tomate se evaluó considerando las variables: contenido de sólidos solubles, número de frutos por planta, peso promedio del fruto y rendimiento. Para determinar el efecto de los nueve tratamientos con cuatro repeticiones sobre las variables en estudio, se utilizó un diseño de bloques al azar en parcelas divididas: a las parcelas grandes les correspondieron las frecuencias de riego y a las chicas las mezclas. Los datos se examinaron estadísticamente por medio de análisis de varianza, y cuando se registraron diferencias significativas, se realizó la comparación de medias con la prueba $DMS_{0.05}$. El mayor rendimiento se registró en el tratamiento T3 [mezcla (VC:C:A; 1:1:2, v:v:v) con RD], con 14.76 kg m^{-2} , mientras que en los tratamientos T3, T6 y T9 la productividad fue de 17.19, 24.94 y 50.91 kg m^{-3} , respectivamente.

Palabras clave: abonos orgánicos, compost, invernadero, *Solanum lycopersicum*, vermicompost.

ABSTRACT

Different studies have suggested that the use of organic fertilizers e.g., vermicompost, compost and its derivatives, as part of the substrates can provide nutrients and retain moisture while promoting the development of crops. To validate this supposition it was tested the effects of the application of different growth media and different frequencies of watering. The evaluated treatments (T1-T9) included three mixtures of: 1) vermicompost:sand (VC:S; ratio 1:1, by volume), 2) compost:sand (C:S; ratio 1:1, by volume) and 3) vermicompost:compost:sand (VC:C:S; ratio 1:1:2, by volume) combined with three watering frequencies: 1) daily (WD), 2) every two days (WE2D) and 3) every three days (WE3D). Tomato seeds were sown in polystyrene trays with 200 cavities, padded with peat moss; seedlings were transplanted 34 days after sowing in 18 L black plastic bags. The experiment lasted 144 days after transplant. Treatments effect on the development of tomato was evaluated considering the variables: number of fruits, soluble solids content, fruit weight and yield. A split plot randomized complete block experimental design with four replications was used. The big plot corresponded to the frequencies of watering and subplots to the mixtures. Data were statistically analyzed by analysis of variance and means were separated by the $LSD_{0.05}$ test. Results demonstrated that treatment T3 [mixture VC:C:A (ratio 1:1:2, by volume) with WD, generated the maximum higher yields, 14.76 kg m^{-2} . Additionally, treatments T3, T6 and T9 showed productivity of 17.19, 24.94 y 50.91 kg m^{-3} , respectively.

Key words: compost; greenhouse, organic manure, *Solanum lycopersicum*, vermicompost

INTRODUCCIÓN

El crecimiento, la producción, la calidad y el rendimiento de las especies vegetales de importancia económica, dependen, además de otros factores, del adecuado suministro de los elementos nutritivos para atender sus necesidades fisiológicas y metabólicas (Ferreira *et al.*, 2003), así como de la disponibilidad de agua, dada su importancia para los procesos de disolución y transporte de los elementos nutritivos (Muñoz-Arboleda, 2009). Por otro lado, la creciente conciencia acerca de la conservación del ambiente, así como los riesgos de la salud asociados con la aplicación y el abuso en el empleo de los agroquímicos, y las preferencias de los consumidores por los alimentos seguros y libres de riesgo, son las principales condicionantes que dirigen el renovado interés de formas alternativas de agricultura en el mundo. En este sentido, la agricultura orgánica es una opción entre el amplio espectro de métodos de producción que conservan y protegen al ambiente. En el mundo, la demanda de alimentos orgánicos se incrementa permanentemente con un índice promedio de crecimiento anual de 20%-25%. La agricultura orgánica, sin duda, es uno de los sectores de más rápido crecimiento de la producción agrícola; sin embargo, existen ciertos aspectos que deben clarificarse antes de que se realice una conversión a gran escala hacia la agricultura orgánica, uno de los más importantes se refiere a la necesidad de dilucidar si es posible satisfacer la demanda nutritiva de los cultivos a partir de fuentes orgánicas (Ramesh *et al.*, 2005).

En el ámbito de la agricultura orgánica diversos autores, entre los que destacan Atiyeh *et al.* (2000), Ramesh *et al.* (2005), Aalok *et al.* (2008) y Manivannan *et al.* (2009), establecieron que el VC, además de estar conformado por materiales finamente divididos como la turba contiene: *a*) elementos nutritivos fácilmente asimilables y de lenta liberación, *b*) reguladores de crecimiento y otros materiales que favorecen el crecimiento de las especies vegetales, generados por los microorganismos, *c*) un índice elevado de porosidad, aireación, drenaje y capacidad de retención de humedad, *d*) elevada carga y diversidad microbiana, *e*) una gran área superficial, además de otras características que potencialmente pueden favorecer el desarrollo de las plantas.

Se ha establecido que el empleo de los abonos orgánicos (AO), entre los cuales se encuentran el C y el VC, mejora sustancialmente diversas característi-

cas de los suelos y de los sustratos de crecimiento: la fertilidad, la capacidad de almacenamiento de agua, la mineralización de elementos nutritivos, el mantenimiento de valores de pH óptimos para la agricultura; también evitan los cambios extremos de temperatura, además de fomentar la actividad microbiana y controlar la erosión (Nieto-Garibay *et al.*, 2002).

Adicionalmente, en relación con la retención de humedad en los sustratos donde se ha aplicado VC, Atiyeh *et al.* (2000) reportan incrementos en el contenido de humedad, y destacan que este hecho puede deberse a que el VC posee una relación superficie: volumen más grande. La retención de humedad en cantidades adecuadas y de manera homogénea es la principal característica que se busca en un sustrato, ya que a través del agua las raíces asimilan los elementos nutritivos esenciales, además de que las plantas requieren agua para llevar a cabo las funciones metabólicas que les permitan convertir sustancias minerales en compuestos orgánicos; Bastida-Tapia (2001) también ha establecido que mientras más elevada sea la capacidad de retención de humedad, menos frecuentes serán los riegos.

En atención a lo anterior, este trabajo experimental se estableció con el propósito de evaluar el comportamiento del tomate de crecimiento indeterminado, y de definir el sustrato y la frecuencia de riego necesaria para cubrir la demanda nutritiva e hídrica del cultivo, sin afectar su calidad y rendimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el ciclo P-V, 2011, en un invernadero del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna, Torreón, Coahuila, México, cuyas instalaciones se encuentran en La Comarca Lagunera, al norte de México (25° 05' y 26° 54' LN; y 101° 40' y 104° 45' LO, a una altitud de 1139 msnm). Esta región recibe una precipitación promedio anual de 235 mm y su temperatura media es de 18.6 °C (Schmidt, 1989).

El invernadero es de forma semicircular, con cubierta de acrílico reforzado, protegido con malla sombra durante las estaciones más calurosas del año; su piso es de grava y tiene un sistema de enfriamiento automático de pared húmeda, con dos extractores. Posee ventanas laterales de 1.20 m de alto, cubiertas con acrílico enrollable y protegidas con malla antiáfido (Malla Plas®).

La siembra de las semillas de tomate saladette [*Solanumlycopersicum* L. (Peralta *et al.*, 2005)], cv. Kickapoo (Harris Moran®) se realizó el 6 de marzo de 2011 en charolas germinadoras de 200 cavidades, rellenas con peatmoss (Premier®), en las que se colocaron dos semillas por cavidad. Las charolas se cubrieron con plástico negro hasta la germinación, y se regaron cada tercer día con agua de la llave. Después de 34 días de la siembra, cuando las plántulas presentaron de dos a tres hojas verdaderas, se trasplantó una planta por maceta. Como maceta se utilizaron bolsas de polietileno negro, calibre 500 de 18 L que se colocaron en doble hilera, con arreglo a “tresbolillo”, con una densidad de cuatro macetas por m².

Se utilizaron tres mezclas: a) vermicompost + arena [VC:A; relación 1:1 (v:v)], b) compost + arena [C:A; relación 1:1 (v:v)] y c) vermicompost + compost + arena [VC:C:A; relación 1:1:2 (v:v:v)]. Cada uno de estos sustratos tuvo tres frecuencias de riego: 1) riego diario (RCD), 2) riego cada dos días (RC2D) y 3) riego cada tres días (RC3D). Las interacciones mezclas x frecuencias de riego generaron los nueve tratamientos que se evaluaron (Cuadro 1). La unidad experimental estuvo compuesta por una maceta, con una planta por maceta y cuatro repeticiones por tratamiento. La preparación del VC se realizó con estiércol de caballo, conejo y cabra, mezclados con paja de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en una relación 1:1:1 en volumen, y con lombrices *Eiseniafetida* (Atiyeh *et al.*, 2000), durante un periodo de 90 días (Bansal y Kapoor, 2000).

Al alcanzar 30 cm, el tallo principal de cada planta fue tutorado con rafia, las cuales se sujetaron

de la base de las macetas y de la estructura del invernadero para mantenerlas erguidas. Cada tercer día se eliminaron los brotes axilares con tijeras metálicas (Barrilito®), las cuales fueron desinfectadas con una solución de cloro (Cloralex, Alen®) al 1%, para evitar que las plantas se contaminaran de patógenos y mantuvieran su desarrollo solo en un tallo. Para realizar la polinización, al inicio de la floración –entre las 10:00 y las 13:00 h– se agitó manualmente la rafia que se utilizó como guía. Para facilitar la aireación y la coloración de los frutos, cuando los primeros alcanzaron el color punto rosado, se eliminaron las hojas que estaban debajo de ellos.

Para el control de plagas y enfermedades se realizaron revisiones cada dos días. La Mosquita blanca (*Trialeurodes vaporariorum*, Westwood) y los trips (*Frankliniella occidentalis*, Pergande) se controlaron con insecticida orgánico Biodie®, en dosis de 40 mL por cada 200 m²; se presentó pudrición apical, que se solucionó al aumentar la humedad relativa. Las variables evaluadas fueron: número de frutos por planta, contenido de sólidos solubles, peso del fruto y rendimiento total.

La demanda hídrica del cultivo se cubrió con un sistema de riego por goteo, con el que se aplicaron dos riegos diarios, de acuerdo con los siguientes intervalos: del día 1 al 35, del 36 al 50 y del 51 al 144 ddt, en una cantidad de 0.5, 1.0 y 1.5 L maceta⁻¹ día⁻¹, respectivamente, en función de la etapa fenológica del cultivo. Al concluir el experimento, los volúmenes de agua dosificados fueron: 173.5, 86.5 y 57.5 L maceta⁻¹, para los riegos diarios, cada dos días y cada tres días, respectivamente.

Cuadro 1. Composición de las mezclas, las frecuencias de riegos y tratamientos evaluados durante el desarrollo del tomate en condiciones de invernadero

Frecuencia de riego	Mezclas (Tratamientos)		
	VC:A (v:v)	C:A	VC:C:A (v:v:v)
Diario (RCD)	1:1 (T1)	1:1 (T2)	1:1:2 (T3)
1 día sí - 1 día no (RC2D)	1:1 (T4)	1:1 (T5)	1:1:2 (T6)
1 día sí - 2 días no (RC3D)	1:1 (T7)	1:1 (T8)	1:1:2 (T9)

VC = Vermicompost; C = Compost; A = Arena; RCD = Riego cada día; RC2D = Riego cada dos días; RC3D = Riego cada tres días; v:v = Relación v:v; v:v:v = Relación volumen:volumen:volumen; T1-T9 = Tratamientos.

Se utilizó un diseño de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas, con nueve tratamientos y cuatro repeticiones. La parcela grande correspondió a las frecuencias de riego-riego diario (RCD), riego cada dos días (RC2D) y riego cada tres días (RC3D), y las parcelas chicas a las mezclas resultantes de las combinaciones entre VC, C y A. Para analizar el comportamiento de las variables de rendimiento (R) y peso promedio de fruto (PPF), se utilizó una báscula digital (Cubis, Sartorius®). El rendimiento se determinó con el peso del total de los frutos obtenidos en la cosecha, mientras que para el peso se utilizaron diez frutos por planta: el peso del fruto y el número de frutos por planta forman parte de los componentes de rendimiento (Santiago *et al.*, 1998). Además, se cuantificó el número de fruto (NF) por planta en cada cosecha, así como el contenido de sólidos solubles (SS) en los diez frutos por planta, determinado en °Brix con un refractómetro manual (Master-T, ATAGO®) y, finalmente, se aplicó el análisis de varianza. Cuando se encontraron diferencias significativas se realizó la comparación entre medias con la prueba DMS al 5%. Ambos análisis se realizaron mediante el programa estadístico de Olivares-Sáenz (1993).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Derivado de los ANDEVA, se determinó la presencia de interacciones altamente significativas ($P \leq 0.001$) entre los tratamientos evaluados. A continuación se describe el comportamiento registrado para cada variable.

Sólidos solubles

El tratamiento T7, correspondiente a la interacción de la mezcla [VC:A, 1:1; (v:v)] con RC3D, registró la mayor concentración de SS al superar con al menos 0.3 °Brix al resto de los tratamientos evaluados (Figura 1). El contenido de SS registrado en el T7, 5.62 °Brix, cuya aplicación de riego se realizó cada tercer día, coincide con lo establecido por Marouelli *et al.* (2004), quienes determinaron que el déficit de agua durante la etapa de maduración de los frutos favorece el incremento del contenido de SS. Adicionalmente, este valor fue superado en 1.1 °Brix por el valor promedio de SS contenido en los frutos que se desarrollaron en diferentes volúmenes de fibra de coco y con distintas frecuencias de riego por goteo (de-Matos-Pires *et al.*, 2011).

Como se puede apreciar en la Figura 1, a excepción del T4 [mezcla VC:A, 1:1 (v:v) con RC2D], el resto de los tratamientos superaron el contenido de 4 °Brix considerado por Diez (2001) como el valor óptimo para frutos de tomate con fertilización inorgánica, ya sea que se destinen para el procesamiento industrial o para el consumo en fresco. Igualmente, a excepción del tratamiento T4, el resto de los tratamientos registraron valores iguales o ligeramente superiores de contenido de SS reportados en los genotipos Cuauhtémoc y El Cid, 4.3 y 4.4, respectivamente, desarrollados con fertilización orgánica bajo condiciones de invernadero (Márquez-Quiroz *et al.*, 2014).

El hecho de que la mayor parte de los tratamientos hayan favorecido una mayor acumulación de SS puede deberse, en parte, al efecto que genera la aplicación del VC –al suelo o a los medios de crecimiento usados en los invernaderos– sobre la conductividad eléctrica, cuyos valores se incrementan linealmente conforme se incrementa la cantidad aplicada de este abono orgánico (Atiyeh *et al.*, 2001; Manivannan *et al.*, 2009), y de acuerdo con Dorais *et al.* (2001), al incrementarse la salinidad en los medios de crecimiento, también se incrementa el contenido de SS de los frutos. El mayor contenido de SS constituye un atributo de interés para la agroindustria procesadora de tomate, dado que se reducen los costos de producción y, a la vez, la calidad de los productos es óptima (Goykovic-Cortés y Saavedra-del-Real, 2007).

Número de frutos

En el caso del número promedio de frutos por planta, el mayor valor, que fue de 37, se registró en los tratamientos T1 y T3 [mezclas VC:A, 1:1 (v:v) y VC:V:A, 1:1:2 (v:v:v) con RCD]. Este valor superó en al menos ocho frutos al resto de los sustratos con las diferentes frecuencias de riego, aunque las mismas mezclas registraron seis frutos menos del valor reportado por Santiago *et al.* (1998) para la variedad Río Grande, tipo saladette, desarrollado bajo condiciones de invernadero, con fertilización inorgánica.

En la Figura 2 se aprecia que la tendencia a generar más frutos se registra cuando es mayor la frecuencia de riegos, es decir, con el riego diario. Además, se puede destacar que cualquiera de los tres tratamientos: T1, T3 [mezclas VC:A, 1:1 (v:v), VC:V:A, 1:1:2 (v:v:v)] con RCD y T9 [mezcla VC:V:A, 1:1:1 (v:v:v) con RC3D] registraron números promedio de frutos por planta iguales o mayores a los 27 reportados por Vásquez-Ortiz *et al.* (2010) para tomate tipo saladette. Adicionalmente, en la misma figura se aprecia que es-

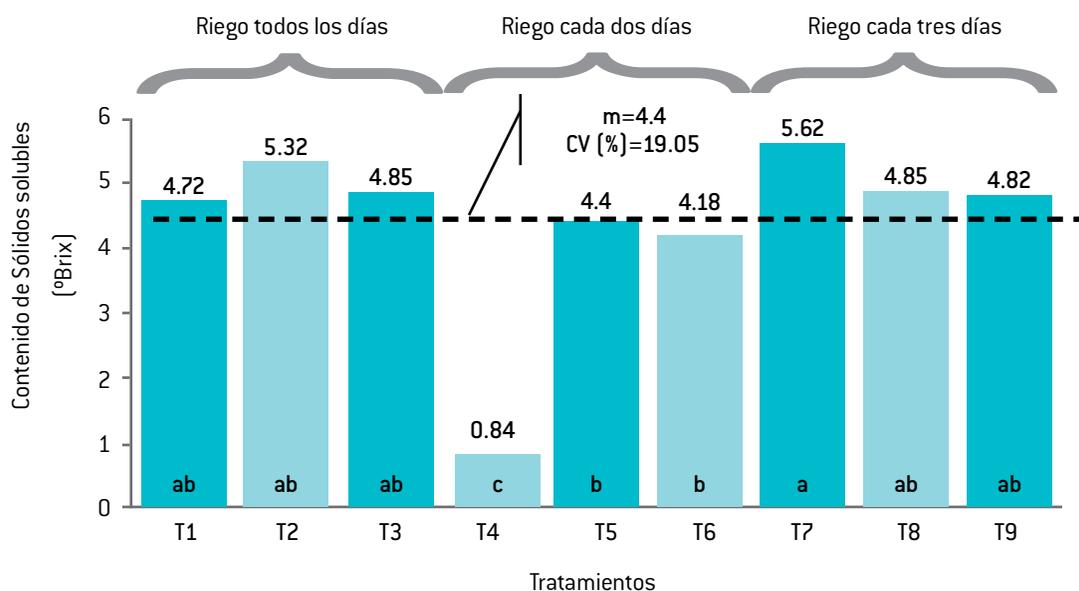


Figura 1. Contenido de sólidos solubles en frutos de tomate desarrollados en diferentes sustratos y diferentes frecuencias de riego. Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales estadísticamente con la prueba $DMS_{(5\%)}$. m = valor promedio; CV = Coeficiente de variación.

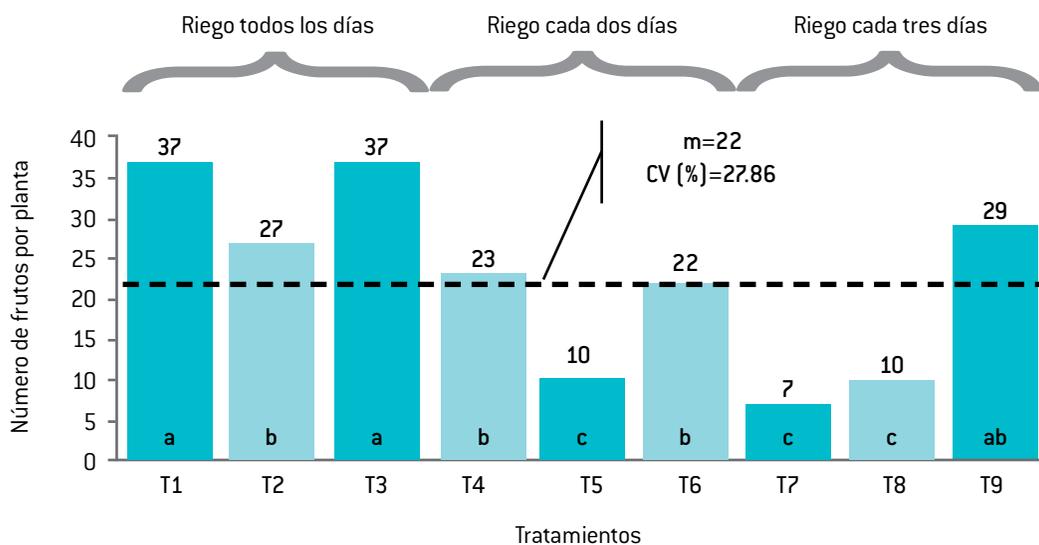


Figura 2. Promedio de frutos por planta de tomate obtenidos en diferentes sustratos y diferentes frecuencias de riego. Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales estadísticamente con la prueba $DMS_{(5\%)}$. m = valor promedio; CV = Coeficiente de variación.

tos tres tratamientos, conjuntamente con el T2 [mezcla C:A, 1;1 (v:v) con RCD], superaron en al menos tres frutos al número de frutos reportado por Márquez-Quiroz *et al.* (2014) para los genotipos Cuauhtémoc y El Cid, desarrollados con fertilización orgánica bajo condiciones de invernadero.

El resultado de los 37 frutos promedio obtenidos coincidió con la media general reportada por Rodríguez-Dimas *et al.* (2008) para los genotipos de tomate Big Beef y Miramar desarrollados bajo condiciones de invernadero, en los cuales se utilizó humus de lombriz como sustrato de crecimiento.

Por otro lado, a diferencia de lo establecido por Pérez-Rivas *et al.* (2012) para los tratamientos T3 y T9, no siempre un mayor número de frutos implica que los frutos registren menor biomasa, puesto que en T3 se registró el mayor número de frutos y el segundo mayor peso promedio de frutos, mientras que en T9 se obtuvo el segundo mayor número de frutos con el mayor peso (Figuras 2 y 3).

Peso del fruto

El mayor peso promedio de los frutos, 98.87 g, se registró en el tratamiento T9 [mezcla VC:C:A, 1:1:1 (v:v:v) con RC3D], cuyo valor superó en 4% al resto de los frutos respecto a su peso promedio (Figura 3). Sin embargo, el peso promedio registrado en todos

los tratamientos para tomate saladette *cv.* Kickapoo, fue ampliamente superado por el peso promedio de 187.5 g reportado por Cristóbal-Alejo *et al.* (2010) para el *cv.* Maya.

Un aspecto a destacar es el hecho de que en la mezcla que incluyó los materiales C, VC y A, con la relación 1:1:2 en volumen, combinada con cualquiera de los tres riegos (RCD, RC2D y RC3D), los frutos de tomate Kickapoo registraron PPF, que fueron iguales o mayores a 93 gfruto^{-1} (Figura 3); a su vez, este valor superó a los pesos de fruto: 89.6, 87.5 y 91.8 g reportados por Martínez-Martínez *et al.* (2013) para los híbridos Aníbal, El Cid y Sun 7705, respectivamente, los cuales se fertilizaron con seis soluciones nutritivas cuya concentración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ fue diferente: 0.3541, 1.0623, 1.4146, 1.7706, 2.1247 y 2.4788 gL^{-1} de manera respectiva, y con los elementos esenciales restantes de la solución nutritiva de Steiner.

Por otro lado, en cinco de los tratamientos evaluados: T1, T3, T6, T8 y T9 se determinaron valores de PPF que superaron, o al menos resultaron iguales que los PPF de los genotipos Cuauhtémoc y El Cid, reportados por Márquez-Quiroz *et al.* (2014), cuyos valores oscilaron de 81.76 a 88.52 g, respectivamente; ambos genotipos se desarrollaron con fertilización orgánica bajo condiciones de invernadero. Debido a lo anterior y por los resultados obtenidos en estos trabajos expe-

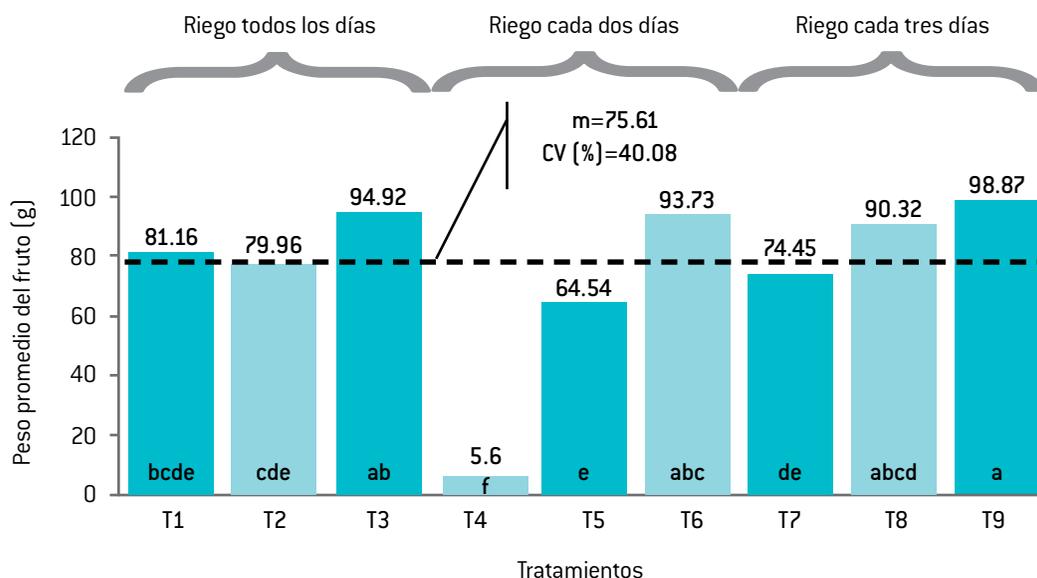


Figura 3. Peso promedio de frutos de tomate obtenidos en diferentes sustratos y diferentes frecuencias de riego. Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales estadísticamente con la prueba DMS_[5%]. m = valor promedio; CV = Coeficiente de variación.

perimentales, se fortalece la idea de que es posible satisfacer la demanda nutritiva de esta especie vegetal con la aplicación de abonos orgánicos tipo VC y C.

Rendimiento

El tratamiento T3 (mezcla VC:C:A (1:1:2, v:v:v) con RCD registró el mayor rendimiento promedio, cuyo valor de $14.76 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, y superó con al menos un 18.9% al rendimiento del resto de los tratamientos (Figura 3).

Por otro lado, a excepción de los tratamientos T5 [mezcla C:A, 1:1 (v:v) con RC2D], T7 y T8 [mezclas VC:A, 1:1 (v:v) C:A, 1:1 (v:v), ambas con RC3D], el resto de los tratamientos superó en forma considerable a los rendimientos promedio reportados por De-la-Cruz-Lázaro *et al.* (2009) para el híbrido SUN-7705 de 5.15 y 3.48 kgm^{-2} , cuando se les aplicó solución nutritiva con fertirriego, y en mezclas de C y VC con arena a diferentes niveles, respectivamente.

Además, destaca que la media general de producción con valor de 7.89 kg m^{-2} resultó ser 7.89 veces superior que la producción de tomate orgánico bajo condiciones de campo, con un rendimiento de 1.0 kg m^{-2} (SIAP, 2005). También resultó ser 2.27 veces mayor al valor promedio de rendimiento 3.48 kg m^{-2} , determinado por De-la-Cruz-Lázaro *et al.* (2009), al evaluar el comportamiento del híbrido SUN-7705 en diferentes

sustratos, formulados con mezclas de C y VC, con arena en diferentes proporciones. En el mismo sentido, los 7.89 kg m^{-2} resultaron similares a los rendimientos reportados por Márquez-Quiroz *et al.* (2014) para los genotipos Cuauhtémoc y El Cid, desarrollados con fertilización orgánica bajo condiciones de invernadero.

Finalmente, al considerar los volúmenes de agua aplicada por frecuencia de riego, cuyos valores correspondieron a 173.5 , 86.5 y $57.5 \text{ L maceta}^{-1}$, para RCD, RC2D y RC3D, respectivamente, los mayores valores de rendimiento fueron: 14.76 , 8.63 y 11.71 kg m^{-2} , obtenidos en los tratamientos T3, T6 y T9 (Figura 4), y si por metro cuadrado se incluyeron cuatro macetas, entonces se estimó que la productividad del agua fue de 17.19 , 24.94 y 50.91 kg m^{-3} , respectivamente. De estos últimos valores, los dos primeros fueron ampliamente superados por la productividad de 35 kg m^{-3} , reportada por Flores *et al.* (2007) para tomate de invernadero. Por otro lado, puesto que el último valor que superó con creces al valor de Flores y colaboradores, es posible suponer que se puede incrementar la eficiencia en el manejo del agua cuando se utilizan como parte de los sustratos de crecimiento tanto el C como el VC, por lo que se sugiere continuar con este tipo de estudios, en los que más que suspender los riegos entre días, se sugiere manejar diferentes volúmenes diarios para el riego de las macetas.

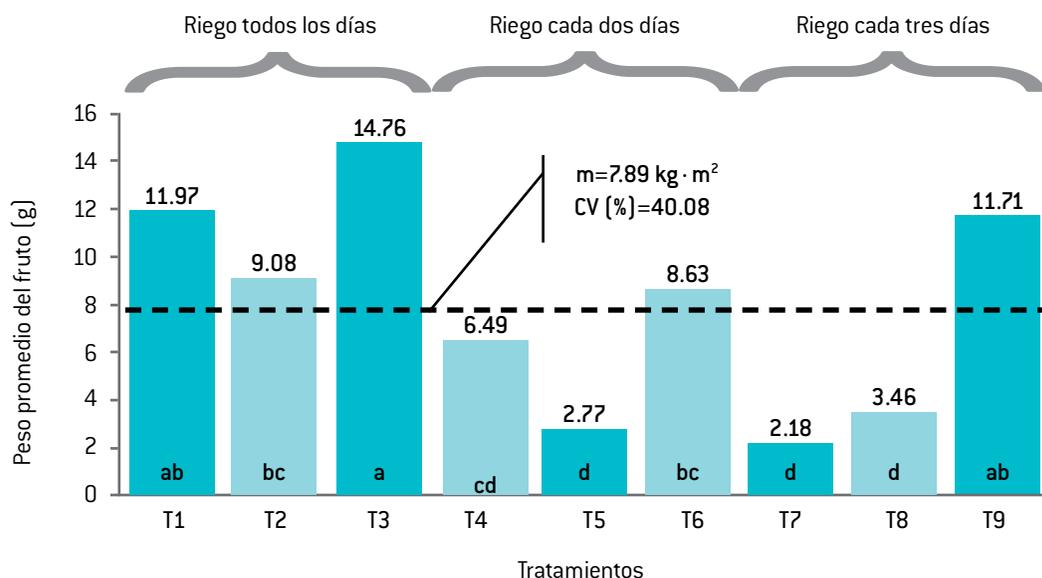


Figura 4. Rendimiento promedio de tomate obtenido en diferentes sustratos y diferentes frecuencias de riego. Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales estadísticamente con la prueba DMS_(5%). m = valor promedio; CV = Coeficiente de variación.

CONCLUSIONES

Los resultados sugieren que los sustratos evaluados: C y VC poseen características que les permiten ser contemplados como alternativa, tanto para el proceso de nutrición de las plantas, como para favorecer la retención de humedad, sin menoscabo de la calidad y el rendimiento del tomate bajo condiciones de invernadero.

AGRADECIMIENTOS

El financiamiento del proyecto: Desarrollo de especies vegetales en invernadero con VC para hacer más eficiente el consumo de agua, de donde se derivó el presente experimento, fue otorgado por la Secretaría de Educación Pública y la Subsecretaría de Educación Superior, a través del Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP), al Cuerpo Académico Sistemas Sustentables para la Producción Agropecuaria (CASISUPA) en formación, con clave: UAAAN-CA-14.

LITERATURA CITADA

- AALOK, A., A.K. Tripathi, P. Soni. 2008. Vermicomposting: A Better Option for Organic Solid Waste Management. *J. Hum. Ecol.* 24(1): 59-64.
- ATIYEH, R.M., N. Arancon, C.A. Edwards, J.D. Metzger. 2000. Influence of earthworm-processed pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoes. *Biores. Technol.* 75: 175-180.
- ATIYEH, R.M., C.A. Edwards, S. Subler, J.D. Metzger. 2001. Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth. *Biores. Technol.* 78: 11-20.
- BANSAL, S., K.K. Kapoor. 2000. Vermicomposting of crop residues and cattle dung with *Eisenia foetida*. *Biores. Technol.* 73: 95-98.
- BASTIDA-TAPIA, A. 2001. El medio de cultivo de las plantas. Sustratos para la agricultura moderna. Serie de publicaciones AGRIBOT No. 4. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 72 p.
- CRISTÓBAL-ALEJO, J., E. Herrera-Parra, V. Reyes-Oregel, E. Ruiz-Sánchez, J.M. Tun-Suárez y T. Celis-Rodríguez. 2010. *Glomus intraradices* para el control de Meloidogyne incognita (kofoïd & white) Chitwood en condiciones protegidas. *Fitosanidad* 14(1): 25 -29.
- DE-LA-CRUZ-LÁZARO, E., M.E. Estrada-Botello, V. Robledo-Torres, R. Osorio-Osorio, C. Márquez-Hernández, R. Sánchez-Hernández. 2009. Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato. *Universidad y Ciencia-Trópico Húmedo.* 25(1): 59-67.
- DE-MATOS-PIRES, R.C., P.R. Furlani, R. Vasconcelos-Ribeiro, D. Bodine-Junior, E. Sakai, A.L. Lourenção, A. Torre-Neto. 2011. Irrigation frequency and substrate volume effects in the growth and yield of tomato plants under greenhouse conditions. *Scientia Agricola (Piracicaba, Braz.)* 68(4): 400-405.
- DIEZ, J.M. 2001. Tipos varietales. En: El cultivo del tomate. Nuez, F. (ed.). Mundi-Prensa. D.F. 796 p.
- DORAIS, M., A.P. Papadopoulos, A. Gosselin. 2001. Influence of electrical conductivity management on greenhouse tomato yield and fruit quality. *Agronomie* 21: 367-383.
- FERREIRA M., M.M., G.B. Ferreira, P.C.R. Fontes. 2003. Produção do tomateiro em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica em duas épocas de cultivo. *Hort. Bras.* 21(3): 468-473.
- FLORES, J., W. Ojeda-Bustamante, I. López, A. Rojano, I. Salazar. 2007. Requerimientos de riego para tomate de invernadero. *TERRA Latinoamericana.* 25(2):127-134.
- GOYKOVIC-CORTÉS, V., G. Saavedra-del-Real. 2007. Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. *IDESIA (Chile).* 25(3):47 - 58.
- MANIVANNAN, S., M. Balamurugan, K. Parthasarathi, G. Gunasekaran, L.S. Ranganathan. 2009. Effect of vermicompost on soil fertility and crop productivity-beans (*Phaseolus vulgaris*). *J. Environ. Biol.* 30(2): 275-281.
- MÁRQUEZ-QUIROZ, C., P. Cano-Ríos, A. Moreno-Reséndez, U. Figueroa-Viramontes, E. Sánchez-Chávez, E. de-la-Cruz-Lázaro, V. Robledo-Torres. 2014. Efecto de la fertilización orgánica sobre el rendimiento y contenido nutricional de tomate saladette en invernadero. *Información Técnica Económica Agraria (ITEA).* 110(1): 3-17.
- MARTÍNEZ-MARTÍNEZ, L., V.A. Velasco-Velasco, J. Ruiz-Luna, J.R. Enríquez-del Valle, G.V. Campos-Ángeles, M.L. Montañó-Lugo. 2013. Efecto del nitrato de calcio y sustratos en el rendimiento del tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas (Pub. Esp. 6):* 1175-1184.
- MAROUELLI, W.A., W.L.C. Silva, C.L. Moretti. 2004. Production, quality and water use efficiency of processing tomato as affected by the final irrigation timing. *Hort. Bras.* 22(2): 226-231.
- MUÑOZ-ARBOLEDA, F. 2009. Importancia del agua en la nutrición de los cultivos. *Carta Trimestral. CENICA-ÑA.* 31(3 y 4): 16-18

- NIETO-GARIBAY, A., B. Murillo-Amador, E. Troyo-Diéguez, J.A. Larrinaga-Mayoral, J.L. García-Hernández, 2002. El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible de Chile (*Capsicum annuum* L.) en zonas áridas. *Interciencia* 27(8): 417-421.
- OLIVARES-SÁENZ, E. 1993. Programa de Diseños Experimentales. V. 2.4. Facultad de Agronomía-UANL. Marín, México.
- PERALTA, I.E., S. Knapp, D.M. Spooner. 2005. New Species of Wild Tomatoes (*Solanum* Section *Lycopersicon*: Solanaceae) from Northern Peru. *Syst. Bot.* 30(2): 424-434.
- PERÉZ-RIVAS, M. B., M. Albarracín, H. Moratinos, F. Zapata-Navas. 2012. Rendimiento y calidad de fruto en cuatro cultivares de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) bajo condiciones protegidas. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 29: 395-412
- RAMESH, P., M. Singh, A.S. Rao. 2005. Organic farming: Its relevance to the Indian context. *Current Science* 88(4): 561-568.
- RODRÍGUEZ-DIMAS, N., P. Cano-Ríos, U. Figueroa-Viramontes, A. Palomo-Gil, F. Favela-Chávez, V. de P. Álvarez-Reyna, C. Márquez-Hernández, A. Moreno-Reséndez. 2008. Producción de tomate en invernadero con humos de lombriz como sustrato. *Rev. Fitotec. Mex.* 31: 265-272.
- SANTIAGO, J., M. Mendoza y F. Borrego. 1998. Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. *Agron. Mesoamericana*. 9(1): 59-65.
- SCHMIDT JR., R.H. 1989. The aridzones of Mexico: climatic extremes and conceptualization of the Sonoran Desert. *J. Arid Environ.* 16: 241-256.
- SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA (SIAP). 2005. Producción de jitomate rojo orgánico. <http://www.siap.gob.mx/> (8 agosto 2011).
- VÁSQUEZ-ORTIZ, R., J.C. Carrillo-Rodríguez, P. Ramírez-Vallejo. 2010. Evaluación morfo-agronómica de una muestra de jitomate nativo del centro y sureste de México. *Naturaleza y Desarrollo* 8(2): 49-64.