

Eficiencia de sustratos en el sistema hidropónico y de suelo para la producción de tomate en invernadero*

Efficiency of substrates in soil and hydroponic system for greenhouse tomato production

Luis Daniel Ortega Martínez¹, Carmen Martínez Valenzuela², Juventino Ocampo Mendoza^{3§}, Engelberto Sandoval Castro³ y Beatriz Pérez Armendáriz¹

¹Universidad Popular Autónoma del estado de Puebla-Departamento de Ciencias Biológicas. 11 poniente 2316, colonia Barrio de Santiago. C. P. Tel: 72410 222, Ext. 797. Puebla, Puebla. (luisdaniel.ortega@upaep.mx; beatriz.perez@upaep.mx). ²Instituto de Investigación en Ambiente y Salud-Universidad de Occidente. Boulevard Macario Gaxiola y Carretera Internacional. Los Mochis, Sinaloa. (maria.martinezv@udo.mx). ³Colegio de Postgraduados-Campus Puebla. Carretera Federal México-Puebla, Santiago Momoxpan, km 125.5, municipio de San Pedro Cholula, Puebla. (Blvd. Forjadores). C. P. 72760. Tel: 01 222 2 85 00 13. (engelber@colpos.mx). [§]Autor para correspondencia: jocampo@colpos.mx.

Resumen

Los sustratos utilizados en los sistemas de producción de tomate en México bajo condiciones de invernadero son heterogéneos por lo que los rendimientos varían. En este estudio se evaluó la eficiencia de diferentes sustratos: tezontle, fibra de coco y la mezcla aserrín-composta en el sistema hidropónico, así como el suelo y suelo con acolchado plástico con fertirrigación en la producción de tomate durante el ciclo agrícola 2013. Los resultados mostraron que el rendimiento con una densidad de siembra de 6 plantas m⁻² presentó diferencias significativas entre los sustratos, el rendimiento fue mayor en el tezontle con promedio de 25.2 kg m⁻². El consumo de agua y solución nutritiva fue superior en los tratamientos de fibra de coco (2708 L m⁻²) y tezontle (2158 L m⁻²), el mejor beneficio económico (1.8 pesos mexicanos) lo mostró el suelo con acolchado plástico, con un rendimiento de 23.3 kg m⁻² y un coeficiente de productividad de 63.6 L de agua por kg m⁻² de tomate. Por lo que este último puede representar una alternativa en el ahorro de agua y de fertilizante.

Palabras clave: *Lycopersicon esculentum* Mill., horticultura protegida, solución nutritiva.

Abstract

The substrates used in tomato production systems in Mexico under greenhouse conditions are so heterogeneous yields vary. In this study the efficiency of different substrates were evaluated: tezontle, coconut fiber and sawdust-compost mixture in the hydroponic system, as well as soil and soil with plastic mulch with fertigation in tomato production during the season 2013. Results showed that performance with a seeding density of 6 plants m⁻² showed significant differences between the substrates, the yield was higher in the volcanic rock with an average of 25.2 kg m⁻². Water consumption and nutrient solution was superior in treatments coir (2 708 L m⁻²) and tezontle (2158 L m⁻²), the best economic benefit (1.8 pesos) showed him the floor with plastic mulch, yield 23.3 kg m⁻² and a coefficient of productivity 63.6 L water per kg m⁻² tomato. So that the latter may represent an alternative in saving water and fertilizer.

Keywords: *Lycopersicon esculentum* Mill., protected horticulture, nutrient solution.

* Recibido: enero de 2016
Aceptado: abril de 2016

Introducción

En México la superficie de producción con hortalizas en condiciones de agricultura protegida ha aumentado en años recientes (SIAP, 2010), el tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) es la hortaliza más cultivada, actualmente experimenta un fuerte desarrollo en diversas regiones y condiciones de clima, suelo, calidad de agua y manejo agronómico (Nieves *et al.*, 2011). Para su producción los sustratos empleados son heterogéneos, basados principalmente en variables climáticas, agronómicas y de fertilización que pueden ayudar a aumentar su eficiencia y rentabilidad (Rucoba *et al.*, 2006; Ortega *et al.*, 2014). Estas variables interactúan con factores ambientales y fisiológicos, de los cuales el productor ejerce un grado de control sobre ellos, pues aplica sus propios esquemas de manejo de acuerdo con su criterio (Bojaca *et al.*, 2009).

Se estima que 80% de la producción hortícola bajo cubiertas plásticas se lleva a cabo en suelo (Castellanos, 2004), sin embargo, éste se maneja como un sustrato inerte, pues no se considera su riqueza y potencialidad productiva por lo que es frecuente y continúa la aplicación de fertilizantes inorgánicos, abonos orgánicos y plaguicidas, con base en las recomendaciones desarrolladas para otras condiciones ambientales y sistemas productivos. Además genera un aumento en los costos de producción así como contaminación ambiental (Alconada *et al.*, 2000; Giuffré *et al.*, 2004). Esto ha sido también reportado en otros sitios del mundo (Moorman, 1998; Karami y Ebrahimi, 2000; Baixauli y Aguilar, 2002).

La elección de cultivar en suelo se basa en ventajas tales como amortiguar interrupciones temporales de agua y la disponibilidad de nutrimentos e incrementar la eficiencia de estos (Villarreal *et al.*, 2002; Castellanos, 2004). No obstante, es ampliamente reconocido que los suelos agrícolas presentan proceso de degradación tales como: salinización, alcalinización, disminución de permeabilidad, desequilibrios nutritivos y desarrollo de enfermedades (Alconada *et al.*, 2011).

Diversos estudios que evalúan rendimientos de tomate en invernadero empleando suelo, muestran diferencias, debido principalmente a los distintos complementos que se utilizan en el sistema como acolchados plásticos, soluciones nutritivas, adición de abonos orgánicos y suelos con distintas propiedades físicas y químicas (Kirda *et al.*, 2004; Ojodeagua *et al.*, 2008; Alconada *et al.*, 2011; Grijalva *et al.*, 2011; Bouzo y Astegiano, 2012).

Introduction

In Mexico the production area with vegetables in conditions protected agriculture has increased in recent years (SIAP, 2010), tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Is the most widely cultivated vegetable, is currently experiencing a strong development in various regions and climate conditions, soil, water quality and agronomic management (Nieves *et al.*, 2011). To produce the substrates used are heterogeneous, based mainly on climatic, agronomic and fertilization variables that can help increase their efficiency and profitability (Rucoba *et al.*, 2006; Ortega *et al.*, 2014). These variables interact with environmental and physiological factors, of which the producer has a degree of control over them, then applies its own management schemes according to its criteria (Bojaca *et al.*, 2009).

An estimated 80% of horticultural production under plastic covers takes place in soil (Castellanos, 2004), however, it is handled as an inert substrate, it is not considered wealth and productive potential so it is common and continues the application of inorganic fertilizers, organic fertilizers and pesticides, based on the recommendations developed for other environmental conditions and production systems. It also generates an increase in production costs and environmental pollution (Alconada *et al.*, 2000; Giuffré *et al.*, 2004). This has also been reported elsewhere in the world (Moorman, 1998; Karami y Ebrahimi, 2000; Baixauli y Aguilar, 2002).

The choice of cultivating soil is based on benefits such as cushioning temporary interruptions of water and nutrient availability and increase the efficiency of these (Villarreal *et al.*, 2002; Castellanos, 2004). However, it is widely recognized that agricultural soils are degradation process such as salinization, alkalization, decreased permeability, nutrient imbalances and disease development (Alconada *et al.*, 2011).

Several studies evaluating tomato yields in greenhouse using soil, show differences, mainly due to the various supplements that are used in the system as plastic toppers, nutrient solutions, addition of organic fertilizers and soil with different physical and chemical properties (Kirda *et al.*, 2004; Ojodeagua *et al.*, 2008; Alconada *et al.*, 2011; Grijalva *et al.*, 2011; Bouzo and Astegiano, 2012).

Likewise, the open hydroponics system is used by inert substrates such as volcanic rock (volcanic rock), sawdust, compost and coir (Gomez, 2003; Moreno and Valdes, 2005;

De la misma forma, se utiliza el sistema hidropónico abierto mediante sustratos inertes como roca volcánica (tezontle), aserrín, compostas y fibra de coco (Gómez, 2003; Moreno y Valdés, 2005; Márquez *et al.*, 2006; Rodríguez *et al.*, 2008; Vargas *et al.*, 2008; Ortega *et al.*, 2010; San Martín *et al.*, 2012). Observándose que uno de los problemas es el rendimiento, el cual varía principalmente por las características físicas y químicas de cada uno de los sustratos empleados; el interés por utilizar distintos sustratos y el suelo está basado en disminuir costos, aumento de rendimiento, calidad de frutos y optimización en el uso de agua y fertilizante (Inden y Torres, 2004).

Para aumentar el rendimiento de tomate en invernadero, han contribuido los cambios en los sistemas de producción, la tecnología, investigaciones y formas de investigar en el mundo, por lo que existe una gran necesidad de investigación local, especialmente en países como México, donde este tipo de tecnología es relativamente nueva para la mayoría de los agricultores (Baeza *et al.*, 2006; Castañeda, 2007; Rico *et al.*, 2007; Vásquez *et al.*, 2007; Acuña, 2009; Ramos *et al.*, 2010; López y Hernández, 2010; Briceño *et al.*, 2011).

El objetivo del presente estudio fue comparar la eficiencia de diferentes sustratos en relación al rendimiento, aprovechamiento de agua y solución nutritiva en el sistema hidropónico y el suelo para la producción de tomate en invernadero.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en el municipio de Chignahuapan, en la región morfológica de la Sierra Norte del estado de Puebla en 2013. El clima corresponde a C(w1) templado subhúmedo, temperatura media anual entre 12 y 18 °C. La precipitación total anual en la zona varía de 600 a 1 000 mm (SMRN, 2007). Se consideró un invernadero de 1 000 m² para clima templado con ventana cenital de polietileno. Las temperaturas medias máxima y mínima dentro del invernadero fueron de 3 y 31 °C. Se cultivó tomate variedad Suun 7 705 de la empresa Nunhems de crecimiento indeterminado. Se evaluaron en el sistema hidropónico abierto los sustratos piedra volcánica (tezontle rojo), fibra de coco y la mezcla de aserrín-composta de ovino en proporción 1:1. Así como el suelo y suelo con acolchado plástico. En el Cuadro 1 se presenta la caracterización física de cada tratamiento. El diseño experimental fue bloques

Marquez *et al.*, 2006; Rodriguez *et al.*, 2008; Vargas *et al.*, 2008; Ortega *et al.*, 2010; San Martín *et al.*, 2012). The observed that one of the problems is the yield, which varies mainly by the physical and chemical each of the substrates used features; the interest in using different substrates and soil is based on lower costs, increased yield, fruit quality and optimal use of water and fertilizer (Inden and Torres, 2004).

To increase the yield of greenhouse tomato, contributed changes in production systems, technology, research and ways to investigate in the world, so there is a great need for local research, especially in countries like Mexico, where this type of technology is relatively new for most farmers (Baeza *et al.*, 2006; Castañeda, 2007; Rico *et al.*, 2007; Vásquez *et al.*, 2007; Acuña, 2009; Ramos *et al.*, 2010; López y Hernandez, 2010; Briceño *et al.*, 2011).

The aim of this study was to compare the efficiency of different substrates in relation to the performance, utilization of water and nutrient solution in hydroponics and soil system for greenhouse tomato production.

Materials and methods

The research was conducted in the municipality of Chignahuapan in the morphological region of the Sierra Norte of Puebla in 2013. The climate corresponds to C(w1) temperate subhumid, annual average temperature between 12 and 18 °C. The total annual rainfall in the area varies from 600 to 1 000 mm (SMRN, 2007). A greenhouse of 1 000 m² for temperate climate with overhead window polyethylene considered. The maximum and minimum average temperatures in the greenhouse were 3 and 31 °C. Cultivated tomato variety Suun 7 705 the company Nunhems indeterminate growth. The volcanic rock substrates (red volcanic rock), coir and the mixture of sawdust-composted sheep in the ratio 1:1 were evaluated in the open hydroponics system. As well as soil and soil with plastic mulch. Table 1 shows the physical characterization of each treatment is presented. The experimental design was completely randomized blocks, 5 treatments were evaluated, with 8 repetitions each experimental unit consisted of 15 plants, with a spacing of 30 cm between them; and a topological arrangement staggered by adjusting the distribution was used, the response variable was the performance.

completamente al azar, se evaluaron 5 tratamientos, con 8 repeticiones, cada unidad experimental estuvo constituida por 15 plantas, con una separación de 30 cm entre ellas; y se utilizó un arreglo topológico a tresbolillo ajustando la distribución, la variable de respuesta fue el rendimiento.

Volume, bulk density and particle density, determined by the method proposed by method De Boodt *et al.* (1974). The total pore space (%) $(1 - D_a/D_r) \times 100$ retained water. Determined by the method proposed by Martínez (1992). CE electric conductivity determined by properties measured

Cuadro 1. Características físicas y químicas de los sustratos empleados.

Table 1. Physical and chemical characteristics of the substrates used.

Tratamientos	Volumen cc (500 g)	Densidad aparente	Densidad real	Espacio poroso (%)	Agua retenida (%)	pH	CE
Fibra de coco	2 700	0.1	2.3	93	22	5.7	3.5
Aserrín-composta	1 200	0.4	0.6	53	73	7.4	1.0
Suelo agrícola	800	0.6	1.6	28.6	65	7.5	0.9
Suelo con acolchado	800	0.6	1.6	28.6	65	7.5	0.9
Tezontle	450	1.1	1.6	45	40	7.2	1.2

Volumen, densidad aparente y densidad real, determinados mediante el método propuesto por De Boodt *et al.* (1974). Espacio poroso total (%) $(1 - D_a/D_r) \times 100$ Agua retenida. Determinados mediante el método propuesto por Martínez (1992). CE conductividad eléctrica determinada por propiedades medidas en extracto saturado, descrito por Warncke (1988) y pH Medidos con un conductímetro/potenciómetro HI 98312 DIST® Hanna Instrument.

in saturated extract, described by Warncke (1988) and pH Measured using a conductivity/potentiometer HI 98312 DiST® Hanna Instrument.

Para los tratamientos con sustratos, el volumen por planta fue de 10 L y se depositaron en bolsas de polietileno calibre 70, para el acolchado del suelo, se utilizó polietileno negro/plataado adicionado con antioxidantes y protectores de rayos ultra violeta, color negro/plata calibre 90. La densidad de plantación fue de 6 m^{-2} . Para el suministro de solución nutritiva se dispuso de una instalación de riego mediante tiempos, que consistió en establecer un calendario con una frecuencia definida para 24 h. que se ajustó de acuerdo al porcentaje de agua retenida. Asimismo, se colectó y cuantificó la solución drenada de los sistemas hidropónicos con sustratos.

For treatments with substrates, the volume per plant was 10 L and deposited in polyethylene bags gauge 70 for padding ground, black / silver polyethylene was used supplemented with antioxidants and protectors of ultra violet rays, black / silver caliber 90. The planting density was 6 m^{-2} . For the supply of nutrient solution was available irrigation facility through time, which was to establish a timetable with a defined frequency for 24 h. which was adjusted according to the percentage of retained water. He also was collected and quantified the solution drained substrates hydroponic systems.

Se utilizaron dos soluciones nutritivas para los tratamientos (Cuadro 2) basadas en los resultados de análisis de agua y suelo y se diseñaron a partir de nitrato de calcio, nitrato de potasio, sulfato de magnesio, sulfato de potasio y ácido fosfórico más microelementos.

Two nutritious solutions were used for treatments (Table 2) based on the results of analysis of soil and water and were designed from calcium nitrate, potassium nitrate, magnesium sulfate, potassium sulfate and phosphoric acid more microelements.

Se determinó la eficiencia de los sustratos y el suelo mediante los cocientes de cantidad utilizada de agua, fertilizantes y peso de tomate producido por metro cuadrado, rendimiento total, y comercial, y los frutos se clasificaron según su

The efficiency of substrates and soil was determined by ratios used amount of water, fertilizers and tomato weight produced per square meter, total yield, and trade, and the fruits were classified according to their diameter boys (4-6 cm), medium (6-8 cm), large (≥ 8 cm). For purposes of this work were separated from the total trade performance, those fruits with less than 4 cm and those who had some physiopathy diameter. The variables were subjected to analysis of variance (ANOVA) and mean comparison tests Tukey ($\alpha=0.01$) and correlations, using the Statistical Package for the Social Sciences (SPSS).

diámetro chicos (4-6 cm), medianos (6-8 cm), grandes (≥ 8 cm). Para fines de este trabajo se separaron del rendimiento comercial total, aquellos frutos con diámetro menor que 4 cm y los que tuvieron alguna fisiopatía. Las variables fueron sujetas a un análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de comparación de medias Tukey ($\alpha = 0.01$) y correlaciones, mediante el paquete estadístico Statistical Package for the Social Sciences (SPSS). También se recabó la información económica de la inversión realizada para cada sustrato, así como los costos de producción y los ingresos obtenidos por la venta local de tomate, posteriormente se determinó la rentabilidad a través del indicador costo beneficio.

Cuadro 2. Composición química de las soluciones nutritivas.
Table 2. Chemical composition of nutrient solutions.

	NO ₃ ⁻ (mmoles L ⁻¹)	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Fe	Mn	Zn ²⁺	Cu ⁺	B ⁺	pH	CE (dS m ⁻¹)
Sustratos	11	0.8	2.5	4.5	7	2	8	1.6	0.023	0.11	0.085	6	2
Suelo	8	0.6	4.5	3.2	3.8	1.5	8	1.6	0.023	0.11	0.085	6.5	1.3

Resultados y discusión

El rendimiento de tomate presentó diferencias significativas ($\alpha = 0.01$) entre tratamientos, destacando el sistema hidropónico empleando el sustrato tezontle con promedio de 25.2 kg m⁻², (Cuadro 3), expresando que las características físicas del sustrato impactaron en la capacidad productiva. Estos resultados son superiores a los obtenidos por Ortega *et al.* (2010) con 19.6 kg m⁻² al emplear el mismo sustrato, pero inferiores a los de Ojodeagua *et al.* (2008) con 34.1 kg m⁻² y San Martín *et al.* (2012) que utilizaron mezcla de tezontle con polvo de fibra de coco en condiciones de invernadero. El suelo con acolchado plástico, mostró un rendimiento de 23.3 kg m⁻², mayor al suelo sin acolchar 19.4 kg m⁻², aun cuando sus características físicas son equivalentes, estos resultados fueron similares a los reportados por Villareal (2002) y Macías *et al.* (2010).

En relación a la mezcla aserrín-composta resultó estadísticamente menor en rendimiento con respecto al tezontle y suelo con acolchado plástico, resultados que no concuerdan con Burés (1997); Nelson (1991); Strojny y Nowak (2001), quienes mencionan que un material por sí solo es difícil que cumpla con las mejores condiciones físicas y químicas para el desarrollo de las plantas. Por lo que es necesario hacer mezclas de materiales con diferentes propiedades físicas y químicas. Sin embargo, concuerda con los resultados presentados para

Also sought economic information on the investment made for each substrate as well as production costs and income from the local sale of tomato was also collected subsequently determined profitability through cost-benefit indicator.

Results and discussion

The tomato yield significant differences ($\alpha = 0.01$) between treatments, highlighting the hydroponic system using the tezontle substrate with an average of 25.2 kg m⁻²

(Table 3) stating that the physical characteristics of the substrate impacted production capacity. These results are superior to those obtained by Ortega *et al.* (2010) with 19.6 kg m⁻² when using the same substrate but lower than Ojodeagua *et al.* (2008) with 34.1 kg m⁻² and San Martín *et al.* (2012) using mixture of volcanic rock with coir dust under greenhouse conditions. The soil with plastic mulch showed a yield of 23.3 kg m⁻², the higher the floor unpadding 19.4 kg m⁻², even if their physical characteristics are equivalent, these results were similar to those reported by Villareal (2002) and Macías *et al.* (2010).

Regarding the sawdust-compost mixture was statistically lower in yield with respect to volcanic rock and soil with plastic mulch, results that do not match Bures (1997); Nelson (1991); Strojny and Nowak (2001), who report that a material alone is difficult to comply with the best physical and chemical development of plants conditions. So it is necessary to make mixtures of materials with different physical and chemical properties. However, consistent with the results presented for treatment of coconut fiber, which showed the highest consumption of water and nutrient solution and lower yield (16.8 kg m⁻²). This consumption could result in the overuse of these fertilizers as mentioned Villareal *et al.* (2009) results, in addition to an increase in production costs, nutritional imbalances in crops and environmental pollution problems.

el tratamiento fibra de coco, que mostró el mayor consumo de agua y solución nutritiva y menor rendimiento (16.8 kg m^{-2}). Este consumo lo pudo ocasionar el uso excesivo de estos fertilizantes como lo menciona Villarreal *et al.* (2009) provoca, además de un aumento en los costos de producción, desbalances nutricionales en los cultivos y problemas de contaminación ambiental.

Por otra parte, el tratamiento tezontle obtuvo 55% de frutos mayores a 8 cm, seguido del suelo con acolchado plástico 52%, (Figura 1), similares a Ojodeagua *et al.* (2008), al evaluar tezontle y suelo, ambos tratamientos mostraron la menor cantidad de frutos pequeños, entre 4-6 cm (8%).

Moreover, the treatment tezontle obtained 55% higher fruit to 8 cm, followed plastic mulch soil 52%, (Figure 1), similar to Ojodeagua *et al.* (2008), when evaluating tezontle and soil, both treatments showed the least amount of small fruits, 4-6 cm (8%).

Similarly, the cost-benefit results show that most of the treatments evaluated are profitable except coir (Table 3). However, despite the tezontle treatment presented the best yields, soil with plastic mulch had the best benefit, because for every peso invested 0.8 pesos was obtained. Higher costs were labor and fertilizer results that are similar to those of Rucoba *et al.* (2006).

Cuadro 3. Eficiencia de agua y fertilizantes en el rendimiento de tomate.
Table 3. Efficiency of water and fertilizer on tomato yield.

Tratamiento	Rendimiento (kg m^{-2})	Riego		Agua por kg producido (L)	N	P	K ⁺ (gm^{-2})	Ca ²⁺	Mg ²⁺	C/B
		Agua (L)	SN (L)							
Fibra de coco	16.8e†	2708a	2295a	160.8a	520a	169a	636a	604a	229a	0.7e
Suelo agrícola	19.4d	1490d	1413c	76.7c	270d	88d	331d	313d	120d	1.5b
Aserrín-composta	22.1c	1684c	1450d	76.1c	323c	104c	397c	375c	143c	1.4c
Suelo con acolchado plástico	23.3b	1482d	1408c	63.6d	268d	88d	330d	310d	119d	1.8a
Tezontle	25.2 ^a	2158b	1860b	85.4b	415b	135b	507b	481.9b	183b	1.3d

†Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($\alpha=0.01$). C/B= costo beneficio. SN= solución nutritiva.

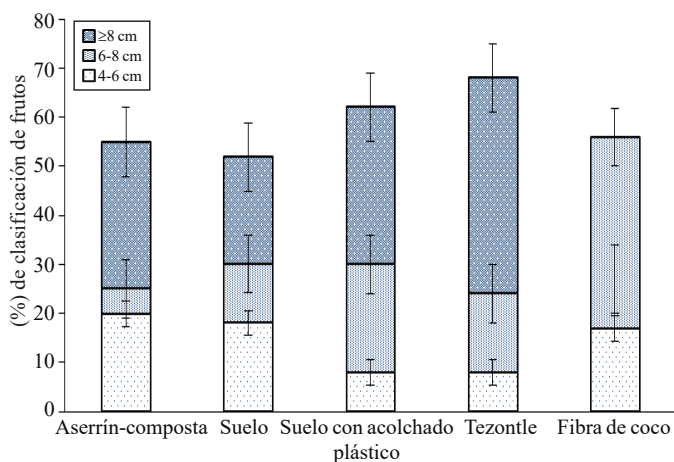


Figura 1. Clasificación del tomate según el rendimiento y diámetro del fruto.

Figure 1. Classification according tomato yield and fruit diameter.

Del mismo modo, los resultados del costo beneficio, demuestran que la mayoría de los tratamientos evaluados son rentables a excepción de la fibra de coco (Cuadro 3). No obstante, a pesar de que el tratamiento tezontle presentó los

Efficiency of water and nutrient solution

The increased water consumption and nutrient solution per kilogram of tomatoes produced was presented in the coir ($2\ 708 \text{ L} - 16.8 \text{ kg m}^{-2}$) and tezontle ($2\ 158 \text{ L} - 25.2 \text{ kg m}^{-2}$), these results may be influenced by low water retention, showing a highly significant correlation between yield and percentage of water retained (Table 4). Results agree with those obtained by Vargas *et al.* (2008). However, they differ with those obtained by Abad *et al.* (2004); Tahi *et al.* (2007), indicating that the production of greenhouse vegetables is one of the alternatives that are carried out to achieve a sustainable use of water, being important to note that this study consisted of free drainage system; It is an open hydroponic system, so that the water and the nutrient solution is not reused, which shows a low efficiency.

Treatments for soil and soil with plastic mulch, no significant differences were found in water consumption and nutrient solution, but not in performance (Table 2). Brouse *et al.* (2006) mention that the plastic mulch soil has a negative impact,

mejores rendimientos, el suelo con acolchado plástico tuvo el mejor beneficio, debido a que por cada peso invertido se obtuvo 0.8 pesos mexicanos. Los costos mayores fueron la mano de obra y el fertilizante, resultados que son similares a los de Rucoba *et al.* (2006).

Eficiencia de agua y solución nutritiva

El mayor consumo de agua y solución nutritiva por kilogramo de tomate producido se presentó en la fibra de coco (2 708 L - 16.8 kg m⁻²) y tezontle (2 158 L - 25.2 kg m⁻²), estos resultados pueden estar influenciados por la poca retención de agua, al mostrar una correlación altamente significativa entre rendimiento y el porcentaje de agua retenida (Cuadro 4). Resultados que coinciden con los obtenidos por Vargas *et al.* (2008). No obstante, difieren con los obtenidos por Abad *et al.* (2004); Tahi *et al.* (2007), los cuales indican que la producción de hortalizas en invernadero es una de las alternativas que se llevan a cabo para alcanzar un uso sustentable del agua, siendo importante señalar que para este estudio el sistema consistió en drenaje libre; es decir un sistema hidropónico abierto, por lo que el agua y la solución nutritiva no se reutilizó, lo que muestra una baja eficiencia.

because it leads to biological degradation of soil, creating an adverse impact on the environment (Peña *et al.*, 2001), air pollution (Ramanathan *et al.*, 1985), soil (Castellanos and Peña, 1990) and groundwater, and surface water eutrophication (Gilliam *et al.*, 1985). In addition, consumption of water and fertilizers in both treatments (soil and soil with plastic mulch), was significantly lower, at the tezontle, but are not considered sustainable production systems. For that reason producers from different countries have adapted organic soilless cultivation practices (Inden and Torres, 2004; Grigatti *et al.*, 2007; Jordan *et al.*, 2010). Unlike Mexico where the soil is widely used in different cultures (Inzunza *et al.*, 2007; Munguía *et al.*, 2011; Gutiérrez *et al.*, 2010; Cih *et al.*, 2011).

The correlation matrix performance (Ren) (Table 4) with water applied (AP), consumption of nutrient solution (SN), substrate volume (V), total pore space (EPT) and retained water (AR); was highly significant ($\alpha=0.01$) and inversely proportional to Ren with V, EPT, significant and inversely proportional with AP and AS; and significant and directly proportional with AR, these effects are similar to those obtained by other authors (Adams, 1986; FAO, 1990; Chung *et al.*, 1992; Chi y Han, 1994; Cadahia, 2005), who mentioned that there significant effect on performance

Cuadro 4. Correlaciones entre rendimiento, agua, solución nutritiva y características físicas de los sustratos.

Table 4. Correlations between performance, water, nutrient solution and physical characteristics of the substrates.

Correlaciones	Consumo		N	P	K	Ca	Mg	V	EPT	Agua
	Agua	solución								
Rendimiento	-.4*	-.4*	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-.8**	-.6**	.5**
Consumo de agua	1	.9**	.9**	.9**	.9**	.9**	.9**	.7**	.9**	-.9**
Consumo de solución		1	.9**	.9**	.9**	.9**	.9**	.7**	.8**	-.9**
N			1	1**	1**	1**	1**	.7**	.9**	-.9**
P				1	1**	1**	1**	.7**	.9**	-.9**
K					1	1**	1**	.7**	.9**	-.9**
Ca						1	1**	.7**	.9**	-.9**
mg							1	.7**	.9**	-.9**
V (cm ³)								1	.9**	-.8**
EPT (%)									1	-.8**

*La correlación es significante al nivel $\alpha=0.01$ **. N= nitrógeno; Ca= calcio; K= potasio; P= fósforo; Mg= magnesio; V= volumen; EPT= espacio poroso total.

Para los tratamientos suelo y suelo con acolchado plástico, no se encontraron diferencias significativas en consumo de agua y solución nutritiva, no así en el rendimiento (Cuadro 2). Brouse *et al.* (2006), mencionan que el acolchado plástico del suelo tiene repercusiones negativas, porque induce a la

by using different concentrations within the range 10 to 320 mg L⁻¹ of nitrogen, 5 to 200 mg L⁻¹ of phosphorus and 20 to 300 mg L⁻¹ potassium. It should be noted that these results have been developed for closed hydroponic systems involving recirculation of the nutrient solution for later use.

degradación biológica del suelo, lo que genera un impacto adverso en el ambiente (Peña *et al.*, 2001), contaminación de la atmósfera (Ramanathan *et al.*, 1985), en los suelos (Castellanos y Peña, 1990) y los mantos acuíferos, así como la eutrofización de aguas superficiales (Gilliam *et al.*, 1985). Además, el consumo de agua y fertilizantes en ambos tratamientos (suelo y suelo con acolchado plástico), fue significativamente menor, al del tezontle, pero no se consideran sistemas de producción sustentables. Por tal razón productores de diversos países han adaptado prácticas orgánicas al cultivo sin suelo (Inden y Torres, 2004; Grigatti *et al.*, 2007; Jordán *et al.*, 2010). A diferencia de México en donde el suelo es ampliamente utilizado en distintos cultivos (Inzunza *et al.*, 2007; Munguía *et al.*, 2011; Gutiérrez *et al.*, 2010; Cih *et al.*, 2011).

La matriz de correlación del rendimiento (Ren) (Cuadro 4) con el agua aplicada (AP), consumo de solución nutritiva (SN), volumen de sustrato (V), espacio poroso total (EPT) y agua retenida (AR); fue altamente significativa ($\alpha=0.01$) e inversamente proporcional de Ren con V, EPT, significativa e inversamente proporcional con AP y AS; y significativa y directamente proporcional con AR, estos efectos son similares a los obtenidos por otros autores (Adams, 1986; FAO, 1990; Chung *et al.*, 1992; Chi y Han, 1994; Cadahía, 2005), quienes mencionan que no hay efecto significativo en el rendimiento por el uso de diferentes concentraciones, dentro del intervalo de 10 a 320 mg L⁻¹ de nitrógeno, de 5 a 200 mg L⁻¹ de fósforo y de 20 a 300 mg L⁻¹ de potasio. Cabe hacer notar que estos resultados han sido desarrollados para sistemas hidropónicos cerrados que involucran la recirculación de la solución nutritiva para su posterior uso.

Existe una correlación altamente significativa en el consumo de agua y la eficiencia de fertilizantes, es decir entre mayor sea el gasto de solución nutritiva el uso de fertilizantes aumenta y al ser sistemas donde no se recircula, como mencionan (Volke *et al.*, 1993; Crovetto, 1996), producen degradación física, química y biológica del suelo, debido a la disminución del contenido de materia orgánica, la acumulación residual de sales solubles y la reducción de su población microbiana. Además, el uso de fertilizante nitrogenado en cantidades superiores a los requerimientos de los cultivos provoca altas emisiones de dióxido de nitrógeno hacia la atmósfera, lo cual contribuye al efecto invernadero y a la destrucción de la capa de ozono (Baggs *et al.*, 2003).

La cantidad de agua que se aplicó a las plantas de tomate, en sus diferentes etapas de crecimiento y desarrollo en los tratamientos, aumentó conforme transcurrió el tiempo,

There was a highly significant correlation in water consumption and efficiency of fertilizers, i.e. the higher the cost of nutrient solution fertilizer use increases and being systems where it is not recirculated, as mentioned (Volke *et al.*, 1993; Crovetto, 1996) produce physical, chemical and biological degradation, due to the decrease in organic matter content, the residual accumulation of soluble salts and reduce the microbial population. Furthermore, the use of nitrogen fertilizer in excess of crop requirements high emissions of nitrogen into the atmosphere dioxide quantities, which contributes to the greenhouse effect and the destruction of the ozone layer (Baggs *et al.*, 2003).

The amount of water the tomato plants are applied at different stages of growth and development in treatments increased as time passed, the most was during July, August and September months (Figure 2), together with the increased solar radiation (Radin *et al.*, 2004). The soil with plastic mulch, showed the highest rate of use of water (63.6 L kg), 50% and 48% lower than the cost of fiber substrates coconut and tezontle respectively (Table 2), the applied amount is higher than the recommended by Albiac, (2004). However, the results obtained is within the range of those by other authors (Ojodeagua *et al.*, 2008; Alconada *et al.*, 2011; Yescas *et al.*, 2011).

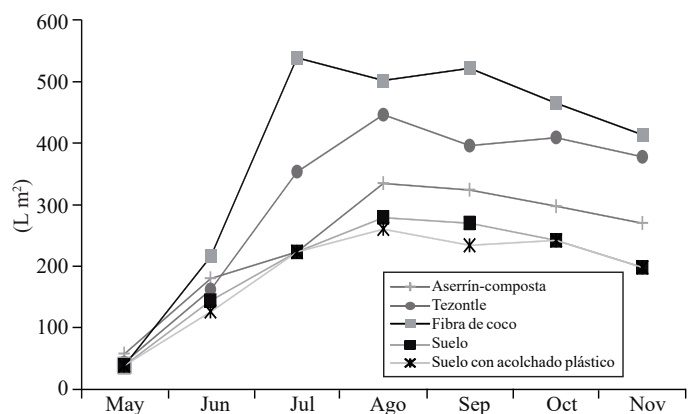


Figura 2. Consumo de agua (L m²) del cultivo de tomate en diferentes sustratos.

Figure 2. Water consumption (L m²) of the tomato crop in different substrates.

Conclusions

In regions temperate sub-humid with temperatures ranging between 12 and 18 °C, it is important tomato production in greenhouses, even if environmental conditions inside it can

la mayor cantidad fue durante los meses julio, agosto y septiembre (Figura 2), aunado al aumento de la radiación solar (Radin *et al.*, 2004). El suelo con acolchado plástico, mostró el mayor coeficiente de uso de agua (63.6 L kg), 50% y 48% menor al gasto de los sustratos fibra de coco y tezontle respectivamente (Cuadro 2), la cantidad aplicada es superior a la recomendada por Albiac, (2004). No obstante, los resultados obtenidos se encuentra dentro del rango de los realizados por otros autores (Ojodeagua *et al.*, 2008; Alconada *et al.*, 2011; Yescas *et al.*, 2011).

Conclusiones

En regiones de clima templado subhúmedo cuyas temperaturas oscilan entre 12 y 18 °C, es importante la producción de tomate bajo invernadero, aun cuando las condiciones ambientales en el interior del mismo pueden llegar a temperaturas más extremas, afectando los rendimientos, la eficiencia del agua y de los fertilizantes. No obstante, los tipos de sustratos que se utilizan son de consideración en la investigación cuyos resultados indican cual es el mejor para beneficio de los productores.

La eficiencia en agua y fertilizante que se logra mediante el cultivo en suelo con acolchado plástico, es del orden de 50% en comparación con los sustratos fibra de coco y tezontle con el hidropónico.

Las diferencias obtenidas en rendimiento entre los tratamientos podrían ser efecto de las propiedades físicas y químicas de los sustratos evaluados, así como por el uso del acolchado plástico.

El rendimiento mostró diferencias significativas, destacando el tezontle, no obstante, el tratamiento suelo con acolchado plástico, mostró el mejor beneficio económico.

Literatura citada

Abad, B.; Noguera, M. y Carrión, B. 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelo. *In*: tratado de cultivo sin suelo. Urrestarazu, G. M. (Ed.). Mundi-Prensa. Madrid, España. 113-158 pp.

Acuña, C. J. 2009. Control climático en invernaderos. *Ingeniería e Investigación*. 3:149-150.

Adams, P. 1986. Mineral nutrition. Chapman and Hall. London, UK. 281-334 pp.

reach more extreme temperatures, affecting yields, water efficiency and fertilizer. However, the types of substrates used are considered in research whose results indicate what is best for the benefit of producers.

Efficiency in water and fertilizer is achieved by soil culture plastic mulch, it is about 50% compared with the substrates coir and tezontle with hydroponics.

The differences obtained in performance between treatments may be effect of physical and chemical properties of the substrates tested, and by the use of plastic mulch.

The performance showed significant differences, highlighting the tezontle, however, treatment with plastic mulch floor, showed the best economic benefit.

End of the English version



Albiac, J. 2004. El modelo para el análisis del sector agrario: necesidades hídricas de los cultivos. Instituto Juan de Herrera. Madrid, España. <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n27/ajalb4.html> (consultado octubre, 2013).

Alconada, M.; Giuffrè, L.; Huergo, L. y Pascale, C. 2000. Hiperfertilización con fósforo de suelos Vertisoles y Molisoles en cultivo de tomate protegido. *Avances en Ingeniería Agrícola*. Editorial Facultad de Agronomía. 343-347 pp.

Alconada, M.; Cuellas, M.; Poncetta, P.; Barragán, S.; Inda, E. y Mitidieri, A. 2011. Nutrición nitrogenada. Efectos en el suelo y en la producción. *Horticultura Argentina*. 30:(72)5-13.

Baeza, E.; Pérez, P.; López, J. and Montero, J. 2006. Study of the natural ventilation performance of a parral type greenhouse with different numbers of spans and roof vent configurations. *Acta Hortic.* 719:333-340.

Baggs, E.; Stevenson, M.; Pihlatie, M.; Regar, A.; Cook, H. and Cadisch, G. 2003. Nitrous oxide emissions following application of residues and fertilizer under zero and conventional tillage. *Plant and Soil*. 254(2):361-370.

Baixaui, S. y Aguilar, O. 2002. Cultivo sin suelo de hortalizas. Generalitat Valenciana. Valencia, España. Serie de Divulgación Técnica Núm. 53. 110 p.

Bojacá, R. B.; Yurani, N. y Monsalve, O. 2009. Análisis de la productividad del tomate en invernadero bajo diferentes manejos mediante modelos mixtos. *Rev. Colom. Cienc. Hortic.* 3:(2)188-198.

Bouzo, C. A. y Astegiano, E. 2012. Efectos de diferentes agroecosistemas en la dinámica de nitrógeno, fósforo y potasio en un cultivo de tomate. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 3(5):907-924.

Briceño, M. L.; Ávila, M. y Jaimez, R. 2011. Modelo de simulación del microclima de un invernadero. *Agrociencia*. 45(5):801-813.

Brouse, S.; Kirkegaard, J.; Pratley, Y. and Howe, G. 2006. Growth suppression of canola through wheat stubble. I. Separating physical and biochemical causes in the field. *Plant and Soil*. 281:203-218.

- Burés, S. 1997. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas S. L. Madrid, España. 352 p.
- Cadahía, L. C. 2005. Fertirrigación, cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. Mundi-Prensa. Madrid, España. 399-354 pp.
- Castañeda, M. R.; Ramos, V.; Peniche, R. y Herrera, G. 2007. Análisis y simulación del modelo físico de un invernadero bajo condiciones climáticas de la región central de México. *Agrociencia*. 41(3):317-335.
- Castellanos, R. J. y Peña, J. 1990. Los nitratos provenientes de la agricultura: una fuente de contaminación de los acuíferos. *Terra Latinoam.* 8:113-126.
- Castellanos, R. J. 2004. Manual de producción hortícola en invernadero. INTAGRI. México, D. F. 103-123 pp.
- Chi, S. and Han, G. 1994. Effect of nitrogen concentration in the nutrient solution during the first 20 days after planting on the growth and fruit yield of tomato plants. *J. Korean Soc. Hort. Sci.* 35(5):415-420.
- Chung, S.; Seo, B. and Lee, B. 1992. Effects of nitrogen and potassium levels and their interaction on the growth and development of hydroponically grown tomato. *J. Korean Soc. Hort. Sci.* 33(3):244-251.
- Cih-Dzul, I.; Jaramillo, J.; Tornero, M. y Schwentesius, R. 2011. Caracterización de los sistemas de producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el estado de Jalisco, México. *Trop. Subtrop. Agroecosys.* 14:501-512.
- Crovetto, C. 1996. Stubble over the soil. The vital role of plant residue in soil management to improve soil quality. Special publication American Society of Agronomy. Madison, WI, USA. 245 p.
- De-Boodt, M.; Verdonck, O. and Cappaert, R. 1974. Methods for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Horticulturae*. 37:2054-2062.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 1990. Soilless culture for horticultural crop production. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia. 102 p.
- Gilliam, J.; Logan, T. and Broadbent, F. 1985. Fertilizer use in relation to the environment. *In: fertilizer technology and use*. Third edition. Soil Science Society of America. Madison, WI, USA. 561-588 pp.
- Giuffré, L.; Alconada, M.; Pascalem, C. and Ratto, S. 2004. Environmental impact of phosphorus overfertilization in tomato greenhouse production. *J. Appl. Hortic.* 6(1):58-61.
- Gómez, H. T. y Sánchez, C. 2003. Soluciones nutritivas diluidas para la producción de jitomate a un racimo. *Terra Latinoam.* 21(1):57-63.
- Grigatti, M.; Giorgioni, M.; Cavani, L. and Ciavatta, V. 2007. Vector Analysis in the study of the nutritional status of *Philodendron* cultivated in compost-based media. *Scientia Hort.* 112(4):448-455.
- Grijalva, C. R.; Macías, D. y Robles, C. 2011. Comportamiento de híbridos de tomate bola en invernadero bajo condiciones desérticas del noroeste de Sonora. *Trop. Subtrop. Agroecosys.* 14(2):675-682.
- Gutiérrez, V. C.; Serwatowski, R.; Cabrera, S.; Saldaña, R. y Juárez, G. 2010. Estudio de corte de películas plásticas sobre suelos acolchados. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 19(4):30-36.
- Inden, H. y Torres, A. 2004. Comparison of four substrates on the growth and quality of tomatoes. *Acta Hort.* 6(44):205-210.
- Inzunza, I. M.; Mendoza, M.; Catalán, V.; Castorena, M.; Sánchez, C. y Román, L. 2007. Productividad del chile jalapeño en condiciones de riego por goteo y acolchado plástico. *Rev. Fitotec. Mex.* 30(4):429-436.
- Jordán, A.; Zavala, A. y Gil, A. 2010. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. *Rev. Catena*. 81(1):77-85.
- Karami, E. and Ebrahimi, H. 2000. Overfertilization with Phosphorus in Iran: a sustainability problem. *J. Ext. Systems*. 16:100-120.
- Kirda, C.; Cetin, M.; Dasgan, Y.; Topcu, S.; Kaman, H.; Ekici, B.; Derici, M. R. and Ozguven A. I. 2004. Yield response of greenhouse grown tomato to partial root drying and conventional deficit irrigation. *Agric. Water Manag.* 69(3):191-201.
- López, C. I. y Hernández, L. 2010. Modelos neuro-difusos para temperatura y humedad del aire en invernaderos tipo cenital y capilla en el centro de México. *Agrociencia*. 44:791-805.
- Macías, D. R.; Grijalva, R. y Robles, F. 2010. Efecto de tres volúmenes de agua en la productividad y calidad de tomate bola (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo condiciones de invernadero. *Biotecnia*. 7(2):11-19.
- Márquez, H. C.; Cano, R.; Chew, M.; Moreno, R. y Rodríguez, D. 2006. Sustratos en la producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 12(2):183-189.
- Martínez, F. 1992. Propuesta de metodología para la determinación de las propiedades físicas de los sustratos. *Actas Hortic.* 11:55-66.
- Moorman, G. 1998. Overfertilization. The Pennsylvania State University. www.cas.psu.edu/docs.casdept/plant/ext/overfert (consultado noviembre, 2013).
- Moreno, R. A. y Valdés, P. 2005. Desarrollo de tomate en sustratos de vermicompost/arena bajo condiciones de invernadero. *Agric. Téc.* 65(1):26-34.
- Munguía, L. J.; Zermeño, G.; Quezada, M.; Ibarra, J. y Arellano, G. 2011. Balance de energía en el cultivo de chile morrón bajo acolchado plástico. *Terra Latinoam.* 29(4):431-440.
- Nelson, P. V. 1991. Greenhouse operation and management. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA. 611 p.
- Nieves, G. V.; Van der Valk, O. and Elings, A. 2011. Mexican protected horticulture: Production and market of Mexican protected horticulture described and analyzed wageningen ur greenhouse horticulture. Landbouw Economisch Institute. The Hague. Minister of Economic Affairs. Rapport GTB-1126. 104 p.
- Ojodeagua, A. J.; Castellanos, J.; Muñoz, R.; Alcántar, R.; Tijerina, G.; Vargas, Ch. y Enríquez, R. 2008. Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. *Fitotec. Mex.* 31:367-374.
- Ortega, M. L.; Sánchez, O.; Ocampo, M.; Sandoval, C.; Salcido, R. y Manzo, R. 2010. Efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo condiciones de invernadero. *Ra Ximhai*. 6(3):339-346.
- Ortega, M. L.; Ocampo, M.; Sandoval, C.; Martínez, V.; Huerta de la Peña, A. y Jaramillo, J. 2014. Caracterización y funcionalidad de invernaderos en Chignahuapan, Puebla, México. *Biociencias*. 2(4):261-270.
- Peña, C. J.; Grajeda, C. y Vera, N. 2001. Manejo de los fertilizantes nitrogenados en México: uso de las técnicas isotópicas (15N). *Terra Latinoam.* 20:51-56.
- Radin, B.; Reisser, J. y Matzenauer, H. 2004. Crecimiento de cultivares de alface conducidas en estufa e a campo. *Hort. Bras.* 22:178-181.

- Ramanathan, V.; Cicerone, H. e Kiehl, J. 1985. Trace gas trends and their potential role in climate change. *J. Geophys. Res. Atmospheres*. 90(D3): 5547-5566.
- Ramos, F. J.; López, M.; Enea, G. y Duplaix, J. 2010. Una estructura neurodifusa para modelar la evapotranspiración instantánea en invernaderos. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*. 11(2):127-139.
- Rico, G.; Castañeda, M.; García, E.; Lara, H. y Herrera, R. 2007. Accuracy comparison of a mechanistic method and computational fluid dynamics (cfd) for greenhouse inner temperature predictions. *Rev. Chapingo Ser. Hortic*. 13(2):207-212.
- Rodríguez, D. N.; Cano, P.; Figueroa, V.; Palomo, G.; Favela, C.; Álvarez, P.; Márquez, H. y Moreno, R. 2008. Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato. *Rev. Fitotec. Mex*. 31(3):265-272.
- Rucoba, G. N.; Anchondo, N.; Lujan, A. y Olivas, G. 2006. Análisis de rentabilidad de un sistema de producción de tomate bajo invernadero en la región centro-sur de Chihuahua. *Rev. Mex. Agron*. 10(19):2-5.
- San Martín, H. C.; Ordaz, C.; Sánchez, G.; Beryl, C. y Borges, G. 2012. Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponía con diferentes granulometrías de tezontle. *Agrociencia*. 46:243-254.
- SMRN. 2007. Diagnóstico socioeconómico y de manejo forestal unidad de manejo forestal Zacatlán. Asociación Regional de Silvicultores Chignahuapan-Zacatlán A. C. Puebla, México. 281 p.
- SAGARPA-SIAP. 2010. http://www.siap.gob.mx/sistema_productos.
- Strojny, Z. and Nowak, J. 2001. Effect of different growing media on the growth of some bedding plants. *Acta Hortic*. 644:157-162.
- Tahi, H.; Wakrim, R.; Agachich, B. and Centritto, M. 2007. Water relations, photosynthesis, growth and water use efficiency in tomato plants subjected to partial rootzone drying and regulated deficit irrigation. *Plant Biosys*. 141(2):265-274.
- Vargas, T. P.; Castellanos, R.; Muñoz, R.; Sánchez, G.; Tijerina, C.; López, R.; Martínez, S. y Ojodeagua, A. 2008. Efecto del tamaño de partícula sobre algunas propiedades físicas del tezontle de Guanajuato. México. *Agric. Téc. Méx*. 34(3):323-331.
- Vázquez, R. J.; Sánchez, C. y Moreno, E. 2007. Producción de jitomate en doseles escaleriformes bajo invernadero. *Rev. Chapingo Ser. Hortic*. 13(1):55-62.
- Villarreal, R.; Parra, T.; Sánchez, P.; Hernández, V.; Osuna, E.; Corrales, M. y Armenta, A. 2009. Fertilización con diferentes formas de nitrógeno en el cultivo de tomate en un suelo arcilloso. *Interciencia*. 34 (2): 135-139.
- Villarreal, R. M.; García, E. y Osuna, A. 2002. Efecto de dosis y fuente de nitrógeno en rendimiento y calidad de poscosecha de tomate en fertirriego. *Terra Latinoam*. 20:311-320.
- Volke, H.; Reyes, F. y Merino, B. 1993. La materia orgánica del suelo como función de factores físicos y el uso y manejo del suelo. *Terra Latinoam*. 11:85-92.
- Warncke, D. 1988. Recommended test procedure for greenhouse growth media. In: Recommended chemical soil test procedures for the North Central Region. Bulletin 499. North Dakota Agricultural Experiment Station. Fargo. 34-37 pp.
- Yescas, C. P.; Segura, C.; Orozco, V.; Enriquez, S.; Sánchez, S.; Frías, R.; Montemayor, T. y Preciado, R. 2011. Uso de diferentes sustratos y frecuencias de riego para disminuir lixiviados en la producción de tomate. *Terra Latinoam*. 29(4):441-448.