

REÚSO DEL TEZONTLE: EFECTO EN SUS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y EN LA PRODUCCIÓN DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill)

Tezontle Reuse: Effect on Physical Properties and Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) Production

Eduardo Rodríguez Díaz¹, Eduardo Salcedo Pérez^{2‡}, Ramón Rodríguez Macías¹,
Diego Raymundo González Eguiarte¹ y Salvador Mena Munguía¹

RESUMEN

Se estudiaron los cambios en las propiedades físicas del Tezontle por efecto de su reúso como sustrato para el cultivo de tomate (primer uso T0, primer reúso T1 y segundo reúso T2), así como la influencia de dichos cambios en la producción. La investigación se realizó en Tlajomulco, Jalisco bajo invernadero, en un sistema hidropónico, de agosto de 2009 a septiembre de 2010. La variedad de tomate fue la SUN 7705. El diseño experimental fue completamente al azar y se evaluaron las propiedades físicas del sustrato (granulometría, densidad aparente, retención de humedad y aireación) al inicio y al final de cada ciclo de cultivo; asimismo, la redistribución del tamaño de partículas, así como algunas variables de respuesta del cultivo (peso de fruto, grados Brix, altura de planta y diámetro de tallo). Se observó un aumento en la capacidad de retención de humedad del tezontle de 43% en T0, 46% en T1 y 48% en T2, una disminución de la capacidad de aireación de 12% en T0, 9% en T1 y 8% en T2, debido a cambios en la distribución del tamaño de partícula por el reúso; dichos cambios no afectaron agrónomicamente las variables de peso de fruto y grados Brix; las diferencias estadísticas, solo fueron significativas en altura de planta y diámetro de tallo. Los resultados obtenidos demostraron que el tezontle como sustrato puede utilizarse durante tres ciclos consecutivos de cultivo de tomate hidropónico sin demeritar su productividad, permitiendo un ahorro aproximado de ciento sesenta mil pesos por hectárea por cada reúso.

¹ Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias,

² Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingeniería, Departamento de Celulosa, Madera y Papel, Universidad de Guadalajara. Km 15.5 Carretera a Nogales, Predio las Agujas. 45010 Zapopan, Jalisco, México.

[‡] Autor responsable (esalcedo@dmcyp.cucei.udg.mx)

Recibido: mayo de 2013. Aceptado: octubre de 2013.
Publicado en Terra Latinoamericana 31: 275-284.

Palabras clave: sustrato, hidroponía, granulometría, porosidad, peso de fruto.

SUMMARY

Changes in physical properties of tezontle reused as a substrate for growing tomatoes were studied (first use T0, first reuse T1 and second reuse T2), as well as the influence of these changes in production of tomato. The research was conducted in a greenhouse in Tlajomulco, Jalisco. A hydroponic system was used from August 2009 to September 2010 with the tomato variety SUN 7705. The experimental design was completely randomized. Physical properties of the substrate (particle size, bulk density, moisture retention and aeration) were evaluated at the beginning and end of each crop cycle. Redistribution of particle size and some crop response variables (fruit weight, degrees Brix, plant height and stem diameter) were also evaluated. An increase in moisture retention capacity (from 43% at T0 to 46% in T1 and 48% in T2) and a decrease in aeration capacity (from 12% at T0 to 9% in T1 and 8% in T2) was observed due to changes in particle size distribution caused by reuse. Agronomically, these changes did not affect weight variables or degrees Brix of fruit. Statistical differences were significant only in plant height and stem diameter. The results showed that the volcanic rock can be used as a substrate for three consecutive crop cycles of hydroponic tomato with no decrease in productivity, allowing a cost savings of approximately one hundred and sixty thousand pesos per hectare for each reuse.

Index words: substrate, hydroponics, particle size, porosity, fruit weight.

INTRODUCCIÓN

México presenta un desarrollo importante en los sistemas de producción hortícola bajo invernadero. La superficie cubierta de invernaderos en el año 2010

superaba las 11 000 ha (SAGARPA, 2010; García, *et al.*, 2011) con una clara tendencia a crecer en los próximos años. De acuerdo con la SAGARPA (2012), el 50% de la superficie con agricultura protegida se concentra en cuatro estados: Sinaloa 22%, Baja California Norte 14%, Baja California Sur 12% y Jalisco 10%. Los principales cultivos que se producen en este sistema son jitomate (70%), pimiento (16%) y pepino (10%). Como consecuencia, existe una creciente demanda de sustratos, los cuales son un componente clave en la producción de horticultura protegida.

El concepto de sustrato se utiliza para denominar a todo material sólido, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, diferente al suelo *in situ*, que al ser depositado en un contenedor, solo o mezclado, permite el anclaje del sistema radical, desempeñando un papel de soporte para las plantas (Abad *et al.*, 2004 y 2005). El sustrato, por sí solo, puede intervenir o no en el proceso de nutrición mineral de la planta, por lo que se pueden clasificar como químicamente activos (turberas, corteza de pino, fibra o polvo de coco, etc.) o químicamente inertes (perlita, lana de roca, roca volcánica, entre otros.) (Pastor, 1999; Urrestarazu, 2004; Cadahía, 2005).

Ya desde la década de los 80's Verdonk *et al.* (1981) y Wilson (1985) reconocieron la importancia de la porosidad y la aireación del sustrato; por su parte, Peñuelas y Ocaño (2000) expresan que las propiedades físicas más importantes son aquellas relacionadas con los poros internos de las partículas y el espacio poroso entre ellas; es decir, la granulometría, la porosidad y el reparto de las fases sólida y gaseosa. El tezontle es una roca volcánica ampliamente utilizada como sustrato hidropónico en la producción hortícola y ornamental (Baca *et al.*, 1991; Ojodeagua *et al.*, 2008). Con respecto a este material, Vargas *et al.* (2008), reportan que la densidad aparente y la densidad real aumentaron conforme disminuyó el tamaño de la partícula; mientras que el espacio poroso total se incrementó con el aumento en el tamaño de partícula. En el caso de las partículas de tezontle, perlita y pómez, los poros son de empaquetamiento simple y vesículas, al estar ocluidos no tienen intercambio de fluidos (Lemaire, 1995). Sin embargo, los poros vesícula retienen entre 55 y 70% de humedad gravimétrica, lo que significa que tienen interconexión (Tamari *et al.*, 2005; Segura *et al.*, 2008).

Algunos autores manifiestan que el tamaño de las partículas está relacionado con las propiedades físicas y químicas de los sustratos. Según Ansorena (1994), el tamaño óptimo de partículas para sustratos hortícolas

se ubica entre 0.25 y 2.5 mm. Las partículas de tamaño uniforme mejoran el suministro de oxígeno a las raíces, comparado con mezclas de partículas de diferentes tamaños (Steiner, 1968; Biran y Eliassaf, 1980; Gislerød *et al.*, 1997). El estudio de las propiedades físicas y químicas de los sustratos es indispensable para evaluar su aptitud en el soporte de cultivos hidropónicos. Además, es necesario evaluar directamente la respuesta de la planta, la cual depende del tipo de manejo (Luque, 1981).

En la actualidad los sustratos minerales para usar en hidroponía, como en el caso del tezontle, requieren una especial atención para el cultivo de plantas; ya que la agricultura se suma a la explotación de este tipo de materiales, aunque la principal extracción de los yacimientos volcánicos tiene como destino la construcción (SCyT, 2010). A pesar de ello, evaluar y determinar las posibilidades de su reúso y las cualidades que conserve para la producción hidropónica no solo favorece su conservación, sino que también significa un mayor impacto en la reducción de los costos de producción. Por su parte Bastida (2002), consigna que el "tezontle" (del eje neovolcánico), "tepetztl" y la fibra de coco (de las zonas costeras), han sido excelentes sustratos en la producción hidropónica de diferentes especies hortícolas. San Martín *et al.* (2012) en investigaciones con tomate, concluyeron que el tamaño de partícula de tezontle tuvo efecto sobre algunas propiedades de calidad del fruto como pH, proporción de jugo y firmeza.

El tezontle presenta una proporción variable de porosidad interna, que incluye al volumen de poros cerrados, que no están conectados con los poros externos y son los espacios que no pueden ser ocupados por el agua, y por lo tanto no intervienen en la relación agua-aire del sustrato (Vargas *et al.*, 2008). La ventaja de este tipo de porosidad es que facilita su manejo con respecto al traslado, cribado y llenado de contenedores al disminuir la densidad aparente del tezontle (Lemaire *et al.*, 2003). Al respecto, Burés *et al.* (1997) manifiestan que en algunos casos se complica correlacionar el tamaño de partícula con algunas propiedades hídricas de los sustratos, debido a la presencia de porosidad interna (porosidad ocluida) ya que ésta no es constante en los diferentes tamaños de partícula.

San Martín *et al.* (2012), evaluaron la calidad física y química del fruto de tomate producido en hidroponía utilizando tezontle como sustrato en cuatro diferentes tamaños de partícula: 3-5, 5-10, 10-20 y 20-30 mm de diámetro, mezclado con polvo y fibra de coco (PFC) en

proporción 3:1. Sus resultados reflejaron que los sustratos evaluados no influyeron en un cambio significativo en los valores para los parámetros de calidad de fruto: sólidos solubles totales, acidez titulable, relación sólidos solubles totales/acidez titulable, conductividad eléctrica y color. Estos resultados, según los autores, se deben al suministro de agua fácilmente disponible, ya que ninguno de sus tratamientos afectó la disponibilidad del agua de riego al no contener partículas finas menores a 3 mm, además de que las pérdidas de humedad y fertilizantes fueron menores, por lo tanto se incrementó la salinidad y alcalinidad en el sustrato, lo que influyó en los atributos de % y pH de jugo, luminosidad, y firmeza del fruto de tomate producido en hidroponía.

El objetivo del presente trabajo fue identificar los cambios en las propiedades físicas del tezontle por efecto de su reutilización; así como, evaluar su influencia sobre el desarrollo del cultivo de tomate y algunas variables de producción.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y Establecimiento del Experimento

La investigación se desarrolló en un invernadero de 500 m² en el poblado de Buena Vista municipio de Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, México que se ubica a los 20° 26' 28" N y 103° 31' 22" O, a una altitud de 1524 m. Las evaluaciones se realizaron de Agosto de 2009 a Septiembre de 2010. Para la fase experimental, se establecieron 600 plantas en 250 m² de dicho invernadero (2.4 plantas m⁻²), de las cuales solo se consideraron 48 plantas de manera aleatoria para la evaluación correspondiente para cada tratamiento.

Sustrato

Se utilizó como sustrato tezontle rojo, mineral de origen volcánico que presenta una alta heterogeneidad en el tamaño de partícula, lo cual requirió un primer tamizado para dejarlo en "calidad arena" (partículas de 1 cm aproximadamente); posteriormente, antes de su uso en la investigación, se homogenizó y se cribó en una malla de 6 mm. Las características iniciales antes de la preparación para su uso, se exponen en el Cuadro 1.

Con la finalidad de obtener el material de evaluación (tezontle de cero uso, primer reúso y segundo reúso), fue necesario establecer un experimento secuenciado

en el periodo de agosto de 2009 a septiembre de 2010; así, para el ciclo que inició en Agosto de 2009 se utilizó tezontle virgen, es decir cero uso, denominándole T0. Al final de éste ciclo el tezontle fue utilizado para establecer el siguiente cultivo y así obtener resultados referentes al tezontle de primer reúso (T1); de la misma manera al finalizar este ciclo se estableció el siguiente cultivo para obtener información de un segundo reúso (T2). A dichos materiales se les determinaron las características físicas de interés antes y después de su utilización.

Material Biológico

Se utilizó la variedad de tomate Saladet SUN 7705, de crecimiento indeterminado de la empresa Nunhems. Para la producción de las plántulas se utilizaron charolas que contenían como sustrato Sunshine N° 3 (integrado por una combinación de musgo, Sphagnum Canadiense y vermiculita principalmente). Los trasplantes para los tres tratamientos se efectuaron el 7 de agosto de 2009, el 2 de Enero de 2010 y el 17 de Junio de 2010; mismos que se realizaron en bolsas negras de polietileno con capacidad de 18 litros, conteniendo el sustrato tezontle.

Diseño Experimental

El diseño experimental fue completamente al azar, incluyó tres tratamientos (primer uso T0, primer reúso T1 y segundo reúso T2) con cuatro repeticiones cada uno, cuatro plantas por repetición; cada planta correspondió a una unidad experimental teniendo 16 plantas por tratamiento y ciclo de cultivo correspondiente, obteniendo 48 plantas para la investigación, de un total de 600 plantas establecidas por ciclo.

Para las variables evaluadas, se efectuó el análisis de varianza y comparación de medias con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$), así como la desviación estándar para los tratamientos; se utilizó el programa estadístico de SAS (SAS Institute, 1990).

Cuadro 1. Principales propiedades físicas y químicas iniciales del tezontle utilizado.

Sustrato	EPT	PA	pH	CE	CIC
	- - - - % - - - -			ds m ⁻¹	meq 100 g ⁻¹
Tezontle	55.5	40.67	7.2	0.05	2.5

EPT = espacio poroso total; PA = porosidad de aireación; CE = conductividad eléctrica; CIC = capacidad de intercambio catiónico.

Colecta de Muestras y Caracterización Física del Sustrato

Se recolectó una muestra de sustrato por unidad experimental para formar una muestra compuesta por repetición, obteniendo un volumen final de 5 litros para realizar tres análisis para cada parámetro físico estudiado, ya que los sustratos se evalúan considerando su volumen. Los materiales presentaban diferentes contenidos de humedad y se procedió a su secado en una estufa con circulación de aire forzado a una temperatura de 60 °C durante 48 h.

Los tratamientos se basaron en el uso y reúso del tezontle y las variables a medir en el efecto que produjo su reutilización en las características físicas del sustrato: densidad aparente, capacidad de retención de humedad, porosidad total y porosidad de aireación; determinaciones realizadas por el método descrito por Ansorena (1994). Además se determinó la distribución del tamaño de partículas utilizando el equipo de tamizado Ro-Tap, que consiste en un equipo agitador de cribas o tamices con movimiento circular y golpeteo que permite separar las partículas por tamaño. Se realizaron dos tamizados, el primero de ellos con tamices de 6, 5, 4, 3 y 2 mm. Adicionalmente, y con el objetivo de precisar las diferencias entre las características físicas de los sustratos, se determinó la distribución del tamaño de partículas finas (< 5 mm), en un segundo tamizado con tamices de 5, 0.84, 0.42, 0.3 y 0.25 mm. Estos análisis se realizaron al inicio y final de cada ciclo de cultivo. Después de evaluar las características físicas del sustrato original (T0), el material cribado para el primer ciclo de cultivo, se depositó en bolsas de polietileno negro con capacidad de 18 litros. Para el segundo ciclo de cultivo, solo se eliminó la parte aérea de las plantas del primer ciclo y se usó la misma bolsa con el sustrato derivado (T1) para establecer la plántula de tomate del segundo ciclo. Procediendo de la misma manera para el tercer ciclo con el sustrato (T2) derivado del ciclo anterior.

Cuadro 2. Solución Steiner.

	Aniones					Cationes		
	NO ₃	H ₂ PO ₄	SO ₄	HCO ₃	Cl	K	Ca	Mg
	----- meq L ⁻¹ -----							
Solución	12	1	7	0.5	0	7	9	4
Agua	0	0	1.3	3.5	1	0.26	1.5	0.5
Aportes	12	1	5.7	0	0	6.74	7.5	3.5

Manejo del Cultivo

La frecuencia, tiempo y volumen de riego a aplicar se realizó con el uso del Programador ESP Modular de la marca Rain Bird.

La nutrición de las plantas se realizó a través de un sistema de riego por goteo aplicando la Solución Steiner (Cuadro 2) en diferentes porcentajes, iniciando con el 10% de la solución e incrementos del 5% hasta terminar con un máximo del 40% de la misma, en función de las fases fenológicas del cultivo (Cruz *et al.*, 2012). La dosificación de los fertilizantes se efectuó con el uso de dos inyectores de fertilizante marca Dosatron con un flujo de operación máximo de 14 galones por minuto (53 L min⁻¹).

Las plantas se guiaron a un solo tallo eliminando los brotes axilares del tallo principal durante todo el desarrollo del cultivo, con inicio a los 25 días después del trasplante.

La sanidad y control de plagas del cultivo se manejó preventivamente utilizando los siguientes productos y siguiendo las recomendaciones de aplicación señaladas por el fabricante (dosis ha⁻¹) para cada uno: para evitar enfermedades se aplicó Pulsor (300 mL), Bavistin (500 g), Hidróxido cúprico (500 g), Zineb (500 g), Captan (500 g) y para la prevención y control de plagas Diazinon (500 g), Thiodan (500 g), Herald (500 g) y Aliette (500 g).

Variables de Estudio en el Cultivo

Las variables evaluadas fueron: peso del fruto, altura de la planta, diámetro de tallo y la concentración de grados Brix en los frutos. Esta última medida con un refractómetro digital ATAGO PAL-1. Los grados Brix se determinaron en los frutos de cada uno de los racimos cosechados. Se registró el peso del fruto en una báscula digital, se realizaron cinco muestreos, hasta el quinto racimo. La altura y el diámetro de planta se midieron periódicamente a los 21, 45, 56 y 71 días después del trasplante (ddt) hasta que alcanzó la altura del quinto

racimo formado; la altura se midió con flexómetro desde la base hasta el ápice del tallo principal, para el diámetro se empleó un vernier digital, tomando como referencia el primer entrenudo de la planta ubicado abajo del primer racimo floral. Para el primer cultivo (T0) se inició la medición de las variables en estudio el 28 de agosto de 2009 y se terminó el 17 de octubre del mismo año. En el segundo cultivo (T1) se inició el 25 de enero de 2010 y finalizó el 23 de marzo del mismo año. En el tercer cultivo (T2) se inició el 28 de junio de 2010 y se terminó el 12 de septiembre del mismo año.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización Física del Sustrato

Las características físicas del tezontle: densidad aparente, retención de humedad en columna, retención de humedad en contenedor, porosidad total y porosidad de aireación fueron modificadas por efecto de la distribución del tamaño de partículas ocasionado por el uso y reúso del sustrato (Cuadro 3). Las partículas mayores de 6 mm después de su primer reúso ya no se percibieron, en cambio las partículas menores se mostraron con una diferente redistribución. Tucuch *et al.* (2011) mencionan que la variación de altura de planta y diámetro de tallo se deben a la composición granulométrica del sustrato, en esta investigación se realizó un segundo tamizado para determinar la redistribución del tamaño de partículas y su efecto en las variables cultivo medidas. En este sentido, el mayor porcentaje de partículas finas, que son influyentes en la capacidad de retención de humedad y aireación de los sustratos, se encontraron entre 0.84 y 0.42 mm debido

a una redistribución del tamaño de partículas originadas por el reúso (Cuadro 4).

Se presentó además una disminución de la porosidad influyente en la aireación (T0: 12.3% y T2: 8%), debido a que las partículas superiores a 5 mm ya no aparecieron después del primer reúso (Cuadro 4 y 5), pero hubo un incremento en la porosidad influyente en la retención de agua (T0: 43% y T2: 48%) y como consecuencia una disminución en la capacidad de aireación (Cuadro 6). Resultados similares reportan Vargas *et al.* (2008) al evaluar el efecto de tamaño de partícula en propiedades físicas de tezontle; concluyen que cuando el diámetro de partícula se reduce por debajo de 0.50 mm la capacidad de aireación se reduce significativamente, además que los valores de espacio poroso total y de porosidad ocluida se incrementan al aumentar el tamaño de partícula. A diferencia del comportamiento del tezontle, Anicua *et al.* (2009), en su investigación sobre la micromorfología y propiedades físicas de la perlita consignan que debido al empaquetamiento de las partículas se origina un incremento en el tamaño de las mismas, y en consecuencia, una mayor capacidad de aireación por el incremento en la proporción de macroporos.

El reúso del tezontle influyó en las características físicas del sustrato que intervienen en el manejo del riego y la nutrición del cultivo: densidad aparente, capacidad de retención de humedad y capacidad de aireación. La densidad aparente, debido al cambio del tamaño de partícula (Cuadro 3 y 4), fue la que presentó mayor variación al pasar de 0.92 en T0 a 0.91 en T1 y a 0.81 g cm⁻³ en T2; la retención de humedad presentó un aumento significativo (Tukey, $P \leq 0.05$) con el reúso y por lo tanto la capacidad de aireación disminuyó

Cuadro 3. Distribución del tamaño de partículas del sustrato en su primer tamizado.

Tamiz	Tezontle 0 uso (T0)		Tezontle 1er. reúso (T1)		Tezontle 2do. reúso (T2)		CV
	Volumen		Volumen		Volumen		
	cm ³	%	cm ³	%	cm ³	%	%
>6 mm	57.00	7.94Aa	0.00	0Ba	0.00	0Ba	3.01
5 – 6 mm	50.33	7.01Ab	24.00	5.63Bb	10.00	4.02Cb	0.17
4 – 5 mm	166.33	23.16Ac	134.00	31.4Bc	44.00	17.67Cc	0.037
3 – 4 mm	38.00	5.29Ad	80.00	18.78Bd	17.00	6.83Cd	0.115
2 – 3 mm	126.00	17.54Ae	38.00	8.92Be	30.00	12.05Ce	0.078
< 2 mm	280.67	39.07Af	150.00	35.21Bf	148.00	59.44Cf	2.255
CV (%)		0.054		0.054		0.143	

Medias con distinta letra son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$), las mayúsculas son las diferencias entre tratamientos (fila) y las minúsculas entre tamaño de tamiz (columna). CV = coeficiente de variación.

Cuadro 4. Distribución del tamaño de partículas del sustrato en su segundo tamizado.

Tamiz	Tezontle 0 uso (T0)		Tezontle 1er. reúso (T1)		Tezontle 2do. reúso (T2)		CV
	Volumen		Volumen		Volumen		
	cm ³	%	cm ³	%	cm ³	%	%
>5 mm	240.00	51.1 Aa	5.00	1.0 Baa	0.00	0 Ca	0.47
5-0.84 mm	224.00	47.7 Ab	395.00	79.9 Bbb	194.00	74.40Cb	0.15
0.84-0.42 mm	1.50	0.3 Ac	60.00	12.1 Bcc	50.00	19.20Cc	0.78
0.42-0.3 mm	0.00	0.0 Ad	15.00	3.0 Bdc	9.00	3.40 Cd	3.11
0.3-0.25 mm	0.00	0.0 Ae	5.50	1.1 Bed	2.50	0.90 Ce	8.33
< 0.25 mm	4.00	0.9 Ae	14.00	2.8 Bfd	5.00	1.90 Cf	0.54
CV (%)		0.33		0.57		0.17	

Medias con distinta letra son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$), las mayúsculas son las diferencias entre tratamientos (fila) y las minúsculas entre tamaño de tamiz (columna). CV = coeficiente de variación.

también significativamente (Cuadro 5). A pesar de estos cambios el comportamiento del cultivo no se vio afectado, ya que manejando el riego de acuerdo a cada una de estas variables en los tratamientos se mantuvo la producción en todos los casos. En este sentido, los valores observados en densidad aparente entre los tratamientos a pesar de presentar diferencia estadísticamente significativa, se encuentran dentro de los rangos reportados por Vargas *et al.* (2008), quienes refieren promedios entre 0.67 y 0.98 g cm⁻³ para las diferentes granulometrías evaluadas en su trabajo, las cuales fueron adecuados para la producción del cultivo.

Cuadro 5. Características físicas del sustrato en su primer tamizado.

Determinación	Tezontle		
	0 uso (T0)	1er. reúso (T1)	2do. reúso (T2)
Densidad aparente (g cm ⁻³)	0.92 a	0.91 a	0.81 b
Retención humedad (columna) (%)	40.67 a	41.66 a	45 a
Retención humedad (contenedor) (%)	43.10 c	45.69 b	48 a
Porosidad total (%)	55.5 a	55 a	56.5 a
Porosidad de aireación (%)	12.33 a	9.3 ab	8 b

Medias con distinta letra en la fila son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). La retención en columna se realizó en laboratorio y la del contenedor directamente en las bolsas.

La retención de humedad, tanto en columna como en contenedor se incrementó por el reúso, debido a la redistribución del tamaño de partícula, a consecuencia del mayor porcentaje de partículas de tamaño inferior a 5 mm; también influyó en esta propiedad, la disminución de la densidad aparente en los materiales evaluados (Cuadro 6). Sin embargo, en la retención de humedad en contenedor se presentaron diferencias significativas (Tukey, $P \leq 0.05$); lo que se debió al aumento en la proporción de partículas finas (menores a 0.84 mm), incrementándose la superficie específica del material (T0: 4.78 m² g⁻¹ y T2: 5.48 m² g⁻¹), lo que le otorga mayor retención de humedad y con ello la disponibilidad del agua para el cultivo se ve mejorada (Vargas *et al.*, 2008). Cabrera (1999), establece que el sustrato deberá tener una porosidad total de por lo menos 70% con base en volumen; destaca, además, la importancia de conocer cómo la porosidad total está repartida entre el espacio ocupado por agua y aire; es la porosidad probablemente la propiedad física más importante de los sustratos empleados en cultivos ornamentales; ya que para el caso del tomate en la presente investigación el 56% de porosidad fue adecuado para su desarrollo y su producción. Acorde con este mismo autor, el valor mínimo recomendado de porosidad de aireación del sustrato es 10%, éste realmente debe ajustarse de acuerdo a la tolerancia de las plantas a niveles bajos de aireación; el tomate puede desarrollarse favorablemente entre 10 y 15% en su porosidad de aireación de acuerdo con los resultados del presente trabajo y a lo reportado por diversos autores (Brady y Weil, 1999; Velasco *et al.*, 2004; Ojodeagua, 2008; Morgan, 2012), condición que se mantuvo hasta el primer reúso (T1); para el segundo reúso (T2) su disminución (8%) implicó realizar un

manejo del riego de acuerdo a las necesidades del cultivo evitando la saturación y la disminución en los niveles de aireación para la raíz.

Efecto del Reúso del Tezontle en la Producción de Tomate

Peso de fruto. Al comparar el peso promedio de fruto de los racimos por tratamiento, no se observó diferencia significativa entre los tratamientos en cada uno de los muestreos evaluados (Cuadro 6), aunque sí se apreció una disminución en el peso promedio final para el segundo reúso (T2) con 96.58 g; ya que en T2 el racimo 1 y racimo 2 fue menor que los demás influyendo en el peso promedio del tratamiento pero no reflejando diferencia estadística.

Nuestros resultados concuerdan con los obtenidos por Ojodeagua *et al.* (2008) al evaluar el efecto de dos sustratos sobre la producción hortícola: suelo y tezontle con diferente granulometría, no detectaron diferencias significativas en la producción de tomate, el cual registró un peso promedio de 120 g fruto⁻¹. Velasco *et al.* (2004), al comparar tres sustratos para la producción de tomate: arena de río, lama y cascajo, no registraron diferencias en el rendimiento del fruto. También hay concordancia con los resultados de Abad y Noguera (2000) quienes afirman que existen numerosos materiales que se pueden utilizar con éxito en la producción hortícola, ya que las características de los materiales que se utiliza como medio de cultivo son determinantes en el manejo de las plantas, tanto en el riego como en la nutrición vegetal, lo cual fue el principal motivo de este estudio, encontrando que es posible el reúso pero ajustando el manejo del cultivo a los cambios originados en el sustrato.

De acuerdo a Wolf y Rudich (1988), existe una relación entre la altura de la planta y el peso de frutos de tomate, ya que, según estos autores, a mayor altura el período de crecimiento del fruto se reduce por la mayor cantidad

de racimos y por lo tanto a la mayor demanda de nutrimentos de los frutos superiores, lo que en el presente trabajo se reflejó para el tezontle de segundo reúso (T2), al tener un peso promedio de fruto de 96.6 g y una altura promedio de planta de 102.5 cm. Por otro lado, la reducción de la aireación en el sustrato originada por el reúso (de 12% a 8%) influye en la reducción de la asimilación de nutrimentos por parte de la planta (Morgan, 2012) como puede observarse en la columna del peso promedio de fruto del Cuadro 6.

Altura de planta y diámetro de tallo. La altura de planta presentó una diferencia estadística entre T0 (153.9 cm) y T2 (190 cm), para la medición a los 71 ddt, la cual es adecuada para la producción hasta el quinto racimo (Cuadro 7). La altura de la planta que se consideró para fines de la investigación fue hasta la producción del quinto racimo; para fines comerciales, y con base en el precio de mercado, se puede manejar el cultivo hasta el racimo número 12 (Quintana *et al.*, 2010); en este sentido, y de acuerdo a Dogliotti (2012), la altura de la planta puede variar de acuerdo a su origen genético, manejo del cultivo a uno o dos tallos y a la nutrición aportada.

El crecimiento alcanzado por la planta se puede considerar normal de acuerdo al avance en su desarrollo. Sin embargo, la diferencia de altura de planta entre reúsos se puede atribuir a que se cambió el manejo del cultivo entre un ciclo y otro, debido a las modificaciones en las características físicas del material que obligan a manejar el riego y la nutrición de la planta en función a la modificación que tuvo la retención de humedad y la aireación del sustrato entre tratamientos. A este respecto, Urbina *et al.* (2006) consignan que en un cultivo hidropónico de plántulas de jitomate en zeolita y tezontle con diferentes granulometrías (fina, media y gruesa), se lograron plántulas de mayor tamaño.

A pesar de las diferencias estadísticas encontradas entre los tratamientos para el diámetro de tallo, la diferencia

Cuadro 6. Efecto del sustrato en el peso promedio de fruto.

Tratamiento	Peso promedio por muestreo					Promedio del peso de fruto
	1	2	Racimo 3	4	5	
	----- g -----					
Tezontle 0 uso (T0)	96.40	105.32	125.40	121.92	108.95	111.60 a
Tezontle 1er. reúso (T1)	103.57	105.57	121.17	124.65	111.37	113.47 a
Tezontle 2do. reúso (T2)	68.25	84.60	106.90	110.97	112.17	96.58 a

Medias con distinta letra en la columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

Cuadro 7. Efecto del sustrato en la altura de planta (cm) y diámetro de tallo (mm) después de diferentes días del trasplante.

Tratamiento	Días después del trasplante							
	21		45		56		71	
	Altura	Diámetro	Altura	Diámetro	Altura	Diámetro	Altura	Diámetro
Tezontle 0 uso (T0)	15.97	4.40	93.18	7.3	113.81	9.2	153.93 b	9.5 a
Tezontle 1er. reúso (T1)	16.81	3.94	81.43	6.5	117.06	8.8	160.43 b	9.6 a
Tezontle 2do. reúso (T2)	22.75	4.24	94.83	8.4	102.43	8.0	190.00 a	9.2 b

Medias con distinta letra en la columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

numérica no debiera considerarse trascendente desde el punto de vista fisiológico por ser tan solo de 0.4 mm (Cuadro 7), lo que no se reflejó en la producción. Es así como, al igual que con la altura de planta, el diámetro de tallo se puede modificar no solo por el tratamiento (reúso del tezontle), sino por otros factores que no fueron evaluados en esta investigación. Para el segundo reúso (T2), a los 71 ddt el diámetro de tallo disminuyó (Cuadro 7) al tener una altura mayor (190 cm), infiriendo que se debe a la disminución del tamaño de partículas y la consecuente reducción en la proporción de aire en el sustrato, a diferencia de lo que reporta Urbina *et al.* (2006) en plántulas de tomate solo para el caso del diámetro, en donde el tezontle “grueso” (2.01-3.36 mm) fue el que presentó el menor valor de diámetro de tallo; siendo coincidentes sus resultados en la altura de planta con los de la presente investigación.

Grados Brix. Los grados Brix en frutos (Cuadro 8) no mostraron diferencias significativas entre muestreos ni entre sustratos en los ciclos de producción.

Nuestros resultados coinciden con los obtenidos por Bugarín *et al.* (2002) quienes evaluaron la producción de tomate en escoria volcánica basáltica negra (tezontle negro) como sustrato con una granulometría de 3 a 6 mm

Cuadro 8. Efecto del sustrato en grados Brix de fruto.

Tratamiento	Promedios por racimo					Grados Brix
	1 ^{er}	2 ^{do}	3 ^{er}	4 ^{to}	5 ^{to}	
Tezontle 0 uso (T0)	4.10	4.2	4.05	4.07	4.04	4.09 a
Tezontle 1er. reúso (T1)	3.87	3.9	4.03	3.94	4.02	3.95 a
Tezontle 2do. reúso (T2)	4.55	3.7	4.45	4.35	4.22	4.25 a

Medias con distinta letra en la columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

de diámetro; no detectaron diferencia significativa en los grados Brix en frutos de tomate.

Con base en los resultados del presente trabajo, se puede argumentar que el tezontle puede ser reutilizado dos veces después de su primer uso, sin que los cambios en los parámetros físicos que se generan en los materiales por el reúso, tengan efectos negativos en el desarrollo del cultivo y su producción. Surgió la evidencia en la presente investigación que después de un segundo reúso, en caso de pretender volver a usar el material como sustrato, éste deberá ser reacondicionado en la distribución del tamaño de partícula para lograr propiedades físicas adecuadas, especialmente una aireación entre 10 y 15% y una retención de humedad de 45% aproximadamente, lo cual permitiría el establecimiento de un nuevo cultivo de tomate.

El tezontle se podrá usar en tres ciclos de cultivo de tomate con un manejo adecuado en el sistema de producción, contribuyendo de esta forma a la producción de hortalizas de manera sustentable, disminuyendo los costos de producción en lo que se refiere al uso de sustratos nuevos. Considerando que para el cultivo de tomate con tezontle como sustrato, de manera convencional se reusa sólo una vez, por considerar el ahorro que esto representa, no se contemplan más reusos por que el material ya no reúne las propiedades físicas adecuadas para el buen desarrollo del cultivo, ni para lograr una producción comercial rentable; en este sentido, y como se ha demostrado en el presente trabajo, es posible un segundo reúso y con ello un mayor ahorro económico de los costos de producción; el ahorro por reúso del sustrato, por hectárea de producción de tomate, es de \$161 000 pesos (Cuadro 9). Además, es posible acortar los tiempos de producción entre ciclo y ciclo, ya que para los reusos la única práctica adicional requerida sería una desinfección al sustrato.

Cuadro 9. Costos y ahorro de tezontle por reúso por hectárea.

Concepto	Unidad	Costo	Cantidad	Costo inicial (T0)	Ahorro 1er. reúso (T1)	Ahorro 2do. reúso (T2)
		\$			\$	
Sustrato (calidad arena)	m ³	600	432	259 200	129 600	129 600
Tamizado	Jornal	200	40	8000	4000	4000
Bolsas	Pza.	1.8	24 000	43 200	21 600	21 600
Llenado bolsas	Jornal	200	32	6400	3200	3200
Acomodo bolsas	Jornal	200	32	6400	3200	3200
Total				323 200	161 600	161 600

Nota. El costo inicial se refiere al primer ciclo de cultivo. Las columnas ahorro se refieren a lo que se dejaría de invertir al reutilizar el mismo sustrato para los dos ciclos siguientes.

CONCLUSIONES

- El tezontle como sustrato puede utilizarse para tres ciclos de cultivo consecutivos de tomate (primer uso y dos reúsos), en virtud de que la redistribución del tamaño de partículas finas originadas por el reúso, no afectó la producción de tomate. El peso promedio de fruto de los diferentes tratamientos presentó una tendencia a disminuir en el segundo reúso, lo que obliga a un manejo diferente del riego y la fertilización para el segundo reúso.
- La concentración de grados Brix no influyó en el fruto, ya que no se presentaron diferencias estadísticas significativas por los cambios en propiedades físicas debidas al reúso.
- La respuesta productiva del cultivo de tomate no se ve afectada cuando el tezontle es reusado en dos ocasiones consecutivas; lo que permite un ahorro económico de más de 160 mil pesos por hectárea en la producción de tomate hidropónico por cada reúso (primero y segundo).

LITERATURA CITADA

- Abad, B. M. y P. Noguera. 2000. Los sustratos en los cultivos sin suelo. pp. 137-185. In: M. Urrestarazu G. (ed.). Manual de cultivo sin suelo. Universidad de Almería. Mundi-Prensa. España.
- Abad, B. M., P. Noguera M. y B. Carrión. 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelo. pp. 113-158. In: Tratado de cultivo sin suelo. M. Urrestarazu G. Mundi-Prensa. Madrid, España
- Abad, B. M., P. Noguera M. y B. Carrión. 2005. Sustratos en los cultivos sin suelo y fertirrigación. pp. 299-352. In: C. Cadahía L. (ed.). Fertirrigación: cultivos horticolas y ornamentales. Mundi-Prensa. Madrid, España
- Anicua S., R., M. C. Gutiérrez C., P. Sánchez G., C. Ortiz S., V. H. Volke H. y J. E. Rubiños P. 2009. Tamaño de partícula y relación micromorfológica en propiedades físicas de perlita y zeolita. Agric. Téc. Méx. 35: 147-156.
- Ansorena, J. 1994. Sustratos. Propiedades y caracterización. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Baca C., G. A., B. S. Alcalde, G. A. Martínez, L. R. James e I. D. Barrera. 1991. Efecto de la solución nutritiva, riego, el sustrato y la densidad de siembra en tres cultivos horticolas en la hidroponia al aire libre. II Melón y jitomate. Agrocencia 2: 33-55.
- Bastida, T. A. 2002. Sustratos hidropónicos. Departamento de Preparatoria Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Biran, I. and A. Eliassaf. 1980. The effect of container size and aeration conditions on growth of roots and canopy of woody plants. Sci. Hortic. 12: 385-394.
- Brady, N. C. and R. R. Weil. 1999. The nature and properties of soils. Prentice Hall. Trenton, NJ, USA.
- Bugarín M., R., A. Galvis S., P. Sánchez G. y D. García P. 2002. Demanda de potasio del tomate tipo saladette. Terra Latinoamericana 20: 391-399.
- Burés, S., M. C. Gago, O. Morales, O. Morfà, and F. X. Martínez. 1997. Water characterization in granular materials (referred). Acta Hortic. 450: 389-396.
- Cabrera, R. I. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. Rev. Chapingo Serie Hortic. 5: 5-11.
- Cadahía L., C. 2005. Fertirrigación, cultivos horticolas, frutales y ornamentales. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Cruz C., E., M. Sandoval V., V. H. Volke H., Ch. Can y J. Sánchez E. 2012. Efecto de mezclas de sustratos y concentración de la solución nutritiva en el crecimiento y rendimiento de tomate. Rev. Mex. Cienc. Agric. 3: 1361-1373.
- Dogliotti, S. 2012. Bases fisiológicas del crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). http://www.fagro.edu.uy/~fisveg/docencia/cursofisiologi/cultivos/materialesteoricos//Repartido_Fisiologia_Tomate.pdf. (Consulta: agosto 18, 2013).
- García V., N., O. Van der Valk, and A. Elings. 2011. Mexican protected horticulture. Production and market of Mexican protected horticulture described and analysed. Rapport GTB-1126. Wageningen UR. Netherlands.
- Gislerød, H. R., R. Baas, M. Warmenhoven, and D. Berg. 1997. Effect of aeration on rooting of growth of roses. Acta Hortic. 450: 113-122.

- Lemaire, F. 1995. Physical, chemical and biological properties of growing medium. *Acta Hort.* 396: 273-284.
- Lemaire, F., A. Fatigues, L. M. Revière, S. Charpentier, and P. Morel. 2003. Cultures en post et conteneurs, principes agronomiques et applications. INRA. Paris.
- Luque, A. 1981. Physical and physical chemical properties of the volcanic materials used in hydroponics. *Acta Hort.* 126: 51-57.
- Morgan, L. 2012. La importancia del oxígeno en hidroponía. <http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/boletin11.htm>. (Consulta: agosto 18, 2013).
- Ojodeagua A., J. L., J. Z. Castellanos R., J. J. Muñoz R., G. Alcántar G., L. Tijerina Ch., P. Vargas T. y S. Enríquez R. 2008. Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. *Rev. Fitotec. Mex.* 31: 367-374.
- Pastor S., J. N. 1999. Utilización de sustratos en viveros. *Terra* 17: 231-235.
- Peñuelas R., J. C. y L. Ocaño B. 2000. Cultivo de plantas forestales en contenedor. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Quintana B., R. A., H. E. Balaguera L., J. G. Álvarez H., J. F. Cárdenas H. y H. Hernando Pinzón. 2010. Efecto del número de racimos por planta sobre el rendimiento de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Rev. Colomb. Cienc. Hort.* 4: 199-208.
- San Martín H., C., V. M. Ordaz Ch., P. Sánchez G., M. T. Beryl C. L. y L. Borges G. 2012. Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponía con diferentes granulometrías de tezontle. *Agrociencia* 46: 243-254.
- SAS Institute. 1990. SAS-STAT user's guide. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- SCyT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes). 2010. Inventario de bancos de materiales. Bancos_2010. México, D. F.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2010. Sistema de Información Agrícola y Pecuaria (SIAP). Estadísticas por estado. SAGARPA. México. URL: <http://www.siap.sagarpa.gob.mx> (Consulta: julio 20, 2012).
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2012. México. URL: <http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Paginas/Agricultura-Protegida2012.aspx>. 2012. (Consulta: julio 20, 2012).
- Segura C., M. A., P. Preciado R., G. González C., J. E. Frías R., G. García L., J. A. Orozco V. y M. Enríquez S. 2008. Adición de material pomáceo a sustratos de arena para incrementar la capacidad de retención de humedad. *Interciencia* 33: 923-928.
- Steiner, A. A. 1968. Soilless culture. pp. 324-341. *In: Proceedings of the IPI 1968 6th Colloquium of the International Potash Institute.* Florence, Italy.
- Tamari, S., D. Samaniego M., I. Bonola, E. R. Bandala, and V. M. Ordaz CH. 2005. Particle density of volcanic scoria determined by water pycnometry. *Geotech. Test. J.* 28: 1-6.
- Tucuch-Haas, C. J., G. Alcántar-González, V. M. Ordaz-Chaparro, J. A. Santizo-Rincón y A. Larqué-Saavedra. 2011. Producción y calidad de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) con diferentes relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ y tamaño de partícula de sustratos. *Terra Latinoamericana* 30: 9-15.
- Urbina S., E., G. A. Baca C., R. Núñez E., M. T. Colinas L., L. Tijerina Ch. y J. L. Tirado T. 2006. Cultivo hidropónico de plántulas de jitomate en zeolita cargada con K^+ , Ca^{2+} o Mg^{2+} y diferentes granulometrías. *Agrociencia* 40: 419-429.
- Urrestarazu, M. 2004. Tratado de cultivo sin suelo. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Vargas T., P., J. Zaragoza-Castellanos R., J. J. Muñoz R., P. Sánchez G., L. Tijerina Ch., R. M. López R., C. Martínez S. y J. L. Ojodeagua A. 2008. Efecto del tamaño de partícula sobre algunas propiedades físicas del tezontle de Guanajuato, México. *Agric. Téc. Méx.* 34: 323-331.
- Velasco H., E., I. Miranda V., R. Nieto A. y H. Villegas R. 2004. Evaluación de sustratos y variedades en la producción protegida de jitomate. *Rev. Chapingo Serie Hort.* 10: 239-246.
- Verdonk, O., D. De Vleeschauwer, and M. De Boodt. 1981. The influence of the substrate to plant growth. *Acta Hort.* 126: 251-258.
- Wilson, G. C. S. 1985. New perlite system for tomatoes and cucumbers. *Acta Hort.* 172: 151-156.
- Wolf, S. and J. Rudich. 1988. The growth rates of fruits on different parts of tomato plants and the effect of water stress on dry weight accumulation. *Sci. Hort.* 34: 1-11.