

# USO DE DIFERENTES SUSTRATOS Y FRECUENCIAS DE RIEGO PARA DISMINUIR LIXIVIADOS EN LA PRODUCCIÓN DE TOMATE

## Use of Different Substrates and Irrigation Frequencies to Reduce Leachate in Tomato Production

Pablo Yescas-Coronado<sup>1</sup>, Miguel A. Segura-Castruita<sup>1‡</sup>, Jorge A. Orozco-Vidal<sup>1</sup>, Miguel Enríquez-Sánchez<sup>1</sup>, José L. Sánchez-Sandoval<sup>1</sup>, José E. Frías-Ramírez<sup>1</sup>, José A. Montemayor-Trejo<sup>1</sup> y Pablo Preciado-Rangel<sup>1</sup>

### RESUMEN

Los lixiviados de la solución nutritiva se asocian al sobre-riego, lo que genera pérdidas económicas, cambios drásticos en el pH y en la conductividad eléctrica (CE) de la solución, saturación del medio de cultivo, disminución de la fotosíntesis, desequilibrios nutricionales, desarrollo de patógenos y frutos de mala calidad. El objetivo de esta investigación fue determinar la frecuencia de riego y sustrato que reduzcan los volúmenes lixiviados de solución nutritiva y relacionarlos con el rendimiento del cultivo. Cinco diferentes frecuencias de riego durante el día (un riego a las 8:00 h; dos a las 8:00 y 10:00 h; tres a las 8:00, 10:00 y 12:00 h; cuatro a las 8:00, 10:00, 12:00 y 14:00 h; cinco a las 8:00, 10:00, 12:00, 14:00 y 16:00 h) y tres sustratos (arena, perlita y una mezcla de arena-vermicompost) fueron evaluadas en tres etapas fenológicas de tomate (vegetativa, floración y fructificación). Los lixiviados dependieron de las frecuencias de riego durante la etapa vegetativa. El tipo de sustrato influyó en la lixivación de las etapas de fructificación y maduración del fruto, los lixiviados dependieron de los sustratos utilizados. La menor cantidad de lixiviados se logró al aplicar el volumen total de agua en un solo riego al día en el sustrato arena. El lixiviado de la mezcla 75% de arena y 25% de vermicompost presentó mayor CE. La eficiencia en el uso del agua fue de 22.16 kg m<sup>-3</sup>, cuando se aplicó el volumen total diario, dividido en cuatro riegos; esto corresponde a una productividad de 6.38 kg m<sup>-2</sup> de fruto.

**Palabras clave:** *Lycopersicon esculentum*, *vermicompost*, *fertirriego*, *lixiviación*, *arena*.

### SUMMARY

Nutrient solution leachate is associated with over-irrigation, which generates economic losses, drastic changes in pH and electrical conductivity (EC) of the solution, saturation of the culture medium, decreased photosynthesis, nutritional imbalances, growth of pathogens and poor quality fruit. The objective of this research was to determine the frequency of irrigation and substrate to reduce leachate volumes of nutrient solution and to relate tomato yield. Five different irrigation frequencies during the day (one irrigation at 8:00 h., two at 8:00 and 10:00 h, three at 8:00, 10:00, and 12:00 h, four at 8:00, 10:00, 12:00, and 14:00 h, five at 8:00, 10:00, 12:00, 14:00, and 16:00 h) and three substrates (sand, perlite, and a mixture of sand, vermicompost) were evaluated in three tomato phenological stages (vegetative, flowering, and fruiting). Leachate depended on the frequency of irrigation during the vegetative stage. The substrate type influenced the leaching of the stages of fruiting and ripening, leachate depended on the substrates used. The least amount of leachate was obtained when the total volume of irrigation water in a single day in the sand substrate. The leachate from the mix 75% sand and 25% of vermicompost showed higher EC. Efficiency in water use was 22.16 kg m<sup>-3</sup>, when the total volume applied daily, divided into four irrigation, this corresponds to a productivity of 6.38 kg m<sup>-2</sup> of fruit. Soluble solid in fruit (°Brix) depended exclusively of substrate used.

**Index words:** *Lycopersicon esculentum*, *vermicompost*, *fertirrigation*, *leach*, *sand*.

<sup>1</sup> Instituto Tecnológico de Torreón (ITT). Carretera Torreón-San Pedro km 7.5. 27170 Torreón, Coahuila, México.

<sup>‡</sup> Autor responsable (dmilys@hotmail.com)

### INTRODUCCIÓN

El tomate es la segunda hortaliza de mayor consumo mundial (Ozenc, 2008; Al-Omran *et al.*, 2010). El incremento de la productividad de ésta hortaliza

es el mayor reto entre los países, sustentado en la optimización de los factores agua y nutrientes, destacando como sistema el fertirriego (Aoumare *et al.*, 2003). La aplicación de agua a través del fertirriego en invernadero se basa en programas de riego fijo (cantidades de agua) a diferentes frecuencias durante el día (Ouma, 2007a) y en distintos sustratos (Levy y Tylor, 2003), mediante equipos automatizados de fertirriego (Radin *et al.*, 2004). Generalmente, la demanda hídrica del cultivo se estima utilizando la evapotranspiración (Fernández *et al.*, 1995) y radiación diaria o el volumen de lixiviados (Casanova *et al.*, 2009); además de, la disponibilidad de los nutrientes para el cultivo (Cadaña, 2005), condiciones específicas para el lugar donde se está cultivando. Por lo anterior, estos métodos requieren de evaluaciones y ajustes de calibración para las condiciones climatológicas regionales y para las condiciones específicas de operación en cada invernadero. La falta de los ajustes y calibraciones provoca la subestimación de los efectos indeseables del sobre riego (Ouma, 2007b).

El sobre-riego genera pérdidas económicas por la lixiviación de la solución nutritiva, cambios drásticos en el pH y la conductividad eléctrica (CE) de la solución, saturación de agua en la zona radical del cultivo y reducción de la fotosíntesis; así como fisiopatías por desbalances nutrimentales, activación de microorganismos fitopatógenos y frutos de mala calidad (Castillo *et al.*, 2004), problemas que están vigentes actualmente.

Los objetivos de esta investigación fueron determinar la frecuencia de riego que aplicada a plantas de tomate en las etapas vegetativas-floración-fructificación, en tres sustratos diferentes, reduzca el volumen lixiviado de solución nutritiva; además de, relacionar el volumen de agua utilizado con el rendimiento de este cultivo en invernadero.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Instituto Tecnológico de Torreón, ubicado en la carretera Torreón San Pedro km 7.5, Torreón, Coahuila, México. El periodo fue otoño-invierno (de los años 2005 y 2006) en un invernadero semiautomático tipo túnel de 250 m<sup>2</sup>, de los cuales, 81 m<sup>2</sup> fueron destinados para este trabajo. Un sistema de fertirriego con un gasto hidráulico nominal por gotero de 3.84 L h<sup>-1</sup>, se utilizó durante el experimento. La uniformidad de emisión del sistema se estandarizó

con base en el método ASAE-EP458 (ASAE, 1991), logrando establecer la uniformidad de emisión con una eficiencia de 90%, considerado como muy bueno (Safi *et al.*, 2007).

La solución nutritiva se preparó con 12, 1, 7, 7, 9, y 4 meq L<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>, respectivamente (Steiner, 1984). También, contó con los microelementos Fe, Zn, Mn y B (0.06, 0.03, 0.02 y 0.02 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente). La solución tuvo una conductividad eléctrica (CE) de 2 dSm<sup>-1</sup> y un pH de 5.5.

La elección de los diferentes tiempos de riego se realizó como lo indica Cadaña (2005), considerando al riego como función de la evolución de la radiación solar durante el día, donde el período de demanda máxima se registra durante la mañana hasta las 13:00 h, aproximadamente. Los sustratos que se utilizaron se obtuvieron fácilmente en el área de influencia del experimento y fueron tres tipos: arena, perlita y una mezcla arena-vermicompost. Los sustratos arena y vermicompost se tamizaron en cribas de 4 y de 2 mm. En el caso de la perlita B<sub>12</sub>, una limpieza de sedimentos de polvo fue realizada con el paso de un flujo de viento. El sustrato arena más vermicompost se mezcló en forma homogénea en una proporción de 75:25 proporción en volumen como lo indica Moreno *et al.* (2005). Un volumen de 15 L de esta mezcla, y de los diferentes sustratos, fueron depositados en macetas de polietileno negro de 0.3 m de diámetro y 0.25 m de altura, con capacidad para 17.5 L.

Un diseño experimental completamente al azar se utilizó en el experimento. Los factores en estudio fueron frecuencias de riego por día (un riego a las 8:00 h.; dos a las 8:00 y 10:00 h; tres a las 8:00, 10:00 y 12:00 h; cuatro a las 8:00, 10:00, 12:00 y 14:00 h; cinco a las 8:00, 10:00, 12:00, 14:00 y 16:00 h) y sustratos (arena, perlita y arena vermicompost) con un arreglo factorial 5 × 3. Quince tratamientos se originaron, cada tratamiento tuvo cuatro repeticiones, para un total de 60 unidades experimentales. Se incluyó un testigo que consistió en la aplicación de un sólo riego con el agua requerida por día y como sustrato arena. La unidad de muestreo constó de tres macetas en un metro cuadrado.

El genotipo utilizado fue Romana Élite, de crecimiento indeterminado y resistente a *Fusarium*, *Verticilium*, virus del mosaico del tabaco y a *Meloidogyne arenaria* (Western Seed, 2005). El trasplante se realizó el 9 de septiembre, 35 días después de la germinación. En el primer riego se aplicó un bactericida fungicida orgánico (Sedric 650), a modo

de prevención, compuesto de extractos vegetales, Ca, Mg, K, Zn, Fe y Cu en una proporción de 97.88, 1.20, 0.04, 0.780, 0.004, 0.059 y 0.028%, respectivamente. La polinización se realizó cada cinco días aplicando aire al cultivo con la parte posterior de una aspiradora doméstica de 0.25 HP. La planta se deshojó, conforme se completaba el llenado de fruto por racimo, siendo este en forma ascendente según la fisiología de la planta. La cosecha se realizó semanalmente hasta el séptimo racimo en virtud de que se programó como de ciclo corto (Camacho, 2003); ésta se hizo cuando el fruto mostró un color rosado.

El registro de datos se llevó a cabo de acuerdo a tres etapas del cultivo; el primero en el primer día después de trasplante (ddt) hasta los 22 ddt, el segundo de 23 a 66 ddt y el tercer registro de los 67 a 159 ddt. Las etapas anteriores corresponden a las fases fenológicas del cultivo, que de acuerdo con Nuez (2001), son la etapa vegetativa, etapa de floración-fructificación y por último la de maduración y cosecha.

La cantidad de agua para el riego se determinó con el método del tanque evaporímetro (Doorenbos y Pruitt, 1977). El lixiviado se colectó en una charola de drenaje 35 cm de ancho por 40 de largo, de superficie acanalada, para conducir el lixiviado hacia un punto común con conexión a un recipiente de plástico sellado, con capacidad de un litro colocado a un lado de la maceta y por debajo del nivel del piso.

### Variables a Evaluar

Cuatro variables fueron evaluadas en este experimento: volumen lixiviado, pH y CE del lixiviado, y rendimiento del cultivo, relacionados con las frecuencias de riego y los sustratos. El volumen lixiviado (VL) se midió en probetas de 1000, 300 y 20 ml después de 24 h de haberse aplicado el riego correspondiente. El volumen retenido (VR) se determinó a partir de la diferencia del volumen aplicado (VA) en el riego y el volumen lixiviado:  $VR = VA - VL$ . Un índice de retención (IR) se calculó a partir del volumen retenido respecto al volumen aplicado:  $IR = VR / VA$ . Un índice de lixiviación (IL) se determinó a partir del volumen lixiviado respecto al volumen aplicado:  $IL = VL / VA$ . La CE ( $dS\ m^{-1}$ ) se midió con el conductímetro marca Hanna Instruments modelo H19033, de uso portátil. El fruto cosechado se pesó con una báscula TOR-REY EQ 10/20. Un análisis de varianza y una prueba de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ )

se realizó con el programa Statistic Analysis System (SAS/STAT, 1998).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La cantidad de agua que se aplicó a las plantas de tomate, en sus diferentes etapas, aumentó conforme transcurrió el tiempo (Cuadro 1). El volumen de agua requerido por las plantas durante todo el experimento, se calculó con datos de evaporación dentro del invernadero. Los requerimientos de agua para cada etapa fueron diferentes (Figura 1). En un principio se puede observar un comportamiento acumulativo; es decir, el volumen de agua en la etapa vegetativa ( $16.11\ L\ planta^{-1}$ ) fue menor que  $77.07\ L\ planta^{-1}$  de agua aplicada a la planta en la etapa de fructificación (Cuadro 1). Sin embargo, al analizar el volumen de agua por día, se observó que el consumo es parecido; aunque, el consumo de la floración y fructificación por día fue mayor que el periodo vegetativo por más de 100 mL. El comportamiento anterior se debe a la evapotranspiración que se presentó dentro del invernadero, puesto que la evaporación en los primeros días del cultivo fue mayor que en las siguientes etapas. Lo anterior se puede deber al efecto ocasionado por la temporada en la que se llevó a cabo el experimento, ya que la radiación solar no incide de la misma manera en otoño-invierno que en primavera-verano (Radin *et al.*, 2004); además, del efecto que tiene el invernadero al disminuir la evaporación que se presenta dentro de éste (Casanova *et al.*, 2009).

Sin embargo, el agua aplicada en las diferentes frecuencias no presentó interacciones por sustrato, sólo se detectaron efectos independientes. El espacio poroso y la distribución de la porosidad fue diferente entre sustratos, lo cual influye en la cantidad de lixiviado por sustrato independientemente de la frecuencia de riego

**Cuadro 1. Agua aplicada durante las diferentes etapas del cultivo de tomate.**

Etapa	Periodo	Días	Volumen de agua	Agua por día
	ddt <sup>†</sup>		$L\ planta^{-1}$	L
Vegetativa	0 – 22	23	16.11 a	0.700 a
Floración	23 – 66	44	37.67 b	0.856 b
Fructificación	67 – 159	93	77.07 c	0.828 b

<sup>†</sup> ddt = días después del trasplante. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

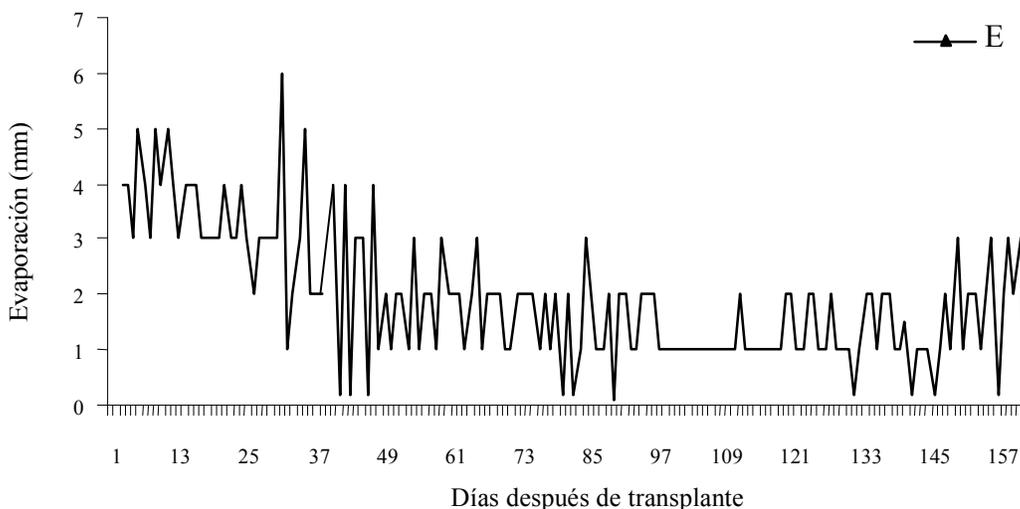


Figura 1. Evaporación diaria dentro del invernadero en el ciclo otoño-invierno.

(Cooke *et al.*, 2005; Cavins *et al.*, 2005). Aunque, en la etapa vegetativa, los volúmenes lixiviados dependieron de las frecuencias de riego (Figura 2). Pero en las dos etapas posteriores, la lixiviación fue altamente influenciada por los sustratos utilizados. De tal manera que, en la etapa vegetativa el mayor porcentaje de lixiviados se presentó cuando se aplicó un riego (1.68%); mientras que, en cinco riegos sólo se tuvo un 0.19%. En cambio, en la etapa de fructificación, cuando se aplicó

un riego se tuvo el menor porcentaje de lixiviado (19.2%) en esta etapa; mientras que, con cinco riegos el porcentaje fue mayor (25.25%). Lo anterior se debe al efecto del contacto del agua con las diferentes partículas de los sustratos (Hanks, 1992). Al inicio del humedecimiento, las distintas proporciones de agua crean un gradiente en el potencial matricial (de mayor a menor) de las partículas (Hillel, 1982); es decir, cuando las partículas están secas y se agrega agua, la mayor parte

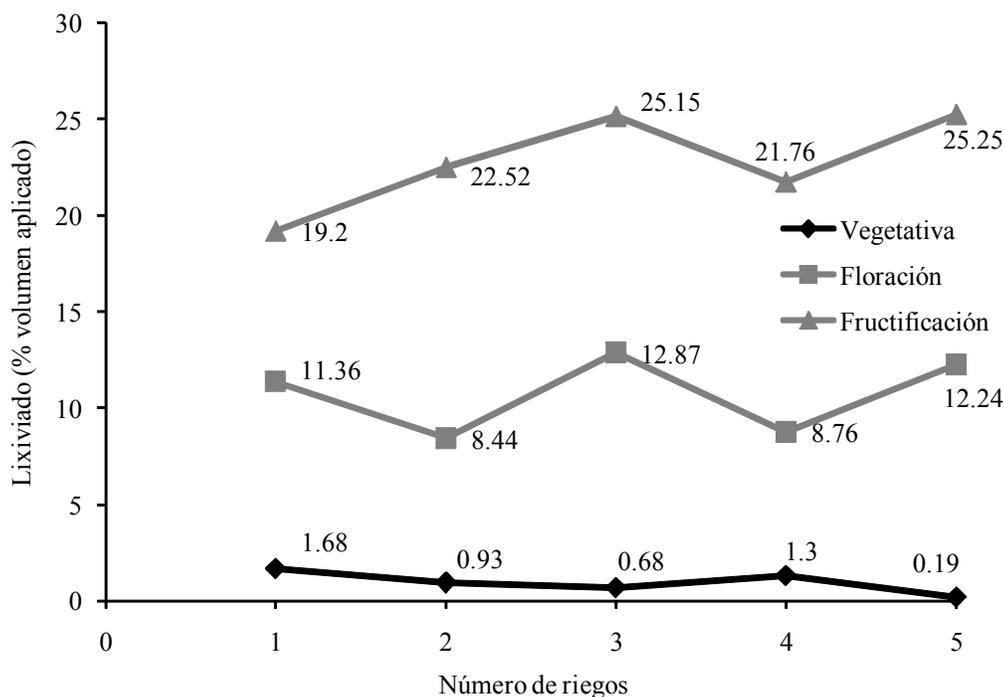


Figura 2. Llixiviado de solución nutritiva respecto al número de riegos y etapas del cultivo.

de ésta pasa rápidamente por los poros antes de que se efectúe una retención. Situación contraria cuando las partículas están húmedas, por ello en las etapas posteriores a la vegetativa, el volumen lixiviado dependió únicamente a las características de los sustratos.

El porcentaje de lixiviado en las distintas etapas del cultivo fue diferente, independientemente de las frecuencias de riego (Cuadro 2). La arena y la perlita B<sub>12</sub> presentaron el menor volumen de solución nutritiva lixiviado en las tres etapas; estadísticamente pueden considerarse iguales (Tukey  $P \leq 0.05$ ). En cambio, el sustrato arena-vermicompost tuvo los porcentajes más altos de lixiviados en la etapa vegetativa, floración y fructificación (1.49, 14.71 y 26.94%, respectivamente). Lo anterior se da por la presencia de materiales orgánicos y las partículas de arena, los cuales incrementan el espacio poroso y facilitan la lixiviación (Sumner *et al.*, 2000; Márquez *et al.*, 2006).

La arena fue el sustrato, que menor lixiviación registró durante las tres etapas analizadas, debido a que las macetas con este sustrato retuvieron hasta un 90% del volumen aplicado durante el riego, independientemente de la frecuencia, liberando el agua retenida en función de la demanda de la planta y las condiciones ambientales dentro del invernadero. Aún cuando la perlita tuvo un comportamiento estadísticamente similar al de la arena, su reducido peso (15 veces más liviana que la arena) y su amplia dispersión, genera la flotación de las partículas durante los riegos, por lo que llega rápidamente al punto de drenaje

(Heiskanen, 1995; Jackson, 2004). La condición anterior es uno de los factores para que la perlita no se utilice exclusivamente como sustrato, exceptuando los sistemas hidropónicos (Martínez *et al.*, 2006).

### Conductividad Eléctrica de los Lixiviados

La conductividad eléctrica (CE) varió en los lixiviados de los diferentes sustratos (Cuadro 3) y por etapa de cultivo. El análisis de varianza detectó diferencias significativas entre etapas y por sustrato (Tukey  $P \leq 0.05$ ). El sustrato arena-vermicompost lixivió la solución con mayor CE en las tres etapas vegetativas. Al relacionar la CE del lixiviado que resultó en cada sustrato por el tiempo que correspondió para cada etapa fenológica (Cuadro 4) se obtuvo que la CE del lixiviado en el sustrato arena-vermicompost tuvo un tendencia negativa conforme se incrementó el tiempo ( $R^2 = 0.7897$ ); en otras palabras, la CE del lixiviado en este sustrato disminuye conforme avanzan las etapas fenológicas del cultivo de tomate (Malash *et al.*, 2005). En cambio, al relacionar la CE de los lixiviados de la arena y la perlita con el tiempo se presentó una tendencia positiva ( $R^2 = 0.9875$ ;  $R^2 = 0.9221$ , respectivamente); lo que significa que la CE aumenta al incrementarse el tiempo. Bunt (2005) indica que a medida que se incrementa la cantidad y frecuencia de riego la concentración de sales aumenta, pero si la cantidad de agua sigue incrementándose se induce a que las sales acumuladas sean lixiviadas gradualmente, por ello el incremento en la solución lixiviada.

**Cuadro 2. Volúmenes acumulados por sustratos en las fases fenológicas del cultivo.**

Etapa	Sustrato	Volumen aplicado	Volumen retenido	Volumen lixiviado	Índice de retención	Índice de lixiviado
			L planta <sup>-1</sup>		%	
Vegetativa	Arena	16.11	16.02 a	0.09	94.44	0.56 a
	Perlita	16.11	15.96 a	0.15	99.07	0.93 a
	Arena-vermicomposta	16.11	15.87 b	0.24	98.51	1.49 b
Floración	Arena	37.67	34.62 a	3.05	91.9	8.10 a
	Perlita	37.67	34.24 ab	3.43	90.89	9.11 ab
	Arena-vermicomposta	37.67	32.13 b	5.54	85.29	14.71 b
Fructificación	Arena	77.07	63.66 a	13.41	82.6	17.40 a
	Perlita	77.07	58.42 ab	18.65	75.8	24.20 ab
	Arena-vermicomposta	77.07	56.31 b	20.76	73.06	26.94 b

† Letras distintas en una misma columna por fase fenológica en cada sustrato, indican diferencias significativas, de acuerdo a la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

**Cuadro 3. Conductividad eléctrica del lixiviado por sustrato y fase fenológica.**

Sustrato	Vegetativa	Floración	Fructificación
	- - - - - dS m <sup>-1</sup> - - - - -		
Arena	3.2 b <sup>†</sup>	4.8 b	7.2 b
Perlita	1.8 c	3.5 c	4.9 c
Arena-vermicompost	17.1 a	12.2 a	10.3 a

<sup>†</sup> Letras distintas en la misma columna, indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

### Producción del Cultivo

El análisis de varianza para la producción detectó diferencias estadísticas altamente significativas debidas a la frecuencia de riego. La frecuencia de cuatro riegos durante el día, produjo 2.9 kg planta<sup>-1</sup>, superando con 0.530 kg planta<sup>-1</sup> al menos productivo que fue la frecuencia de tres riegos durante el día (Cuadro 5). Sin embargo, esta producción no fue suficiente para superar la obtenida para un ciclo corto 7 a 9 kg m<sup>-2</sup> equivalente de 3 a 4 kg planta<sup>-1</sup> (Camacho, 2003; Moneruzzaman *et al.*, 2009).

### Sólidos Totales

Los sólidos totales (°Brix) fueron afectados por el sustrato (Tukey  $P \leq 0.05$ ). El sustrato arena-vermicompost, registró la mayor concentración de sólidos totales: 6.4 °Brix; superando en 0.65% al más bajo que fue para el sustrato de perlita. El valor más alto de °Brix en el sustrato arena más vermicompost, se puede atribuir a una mayor CE en los sustratos, lo cual coincide con lo reportado por Katerji *et al.* (1998), Dorais *et al.* (2001) y Ochoa *et al.* (2009) que indican que el incremento de sólidos solubles obedece a un aumento de la salinidad del medio.

**Cuadro 4. Relación entre el tiempo y la conductividad eléctrica de la solución lixiviada.**

Parámetros	Modelo de regresión	R <sup>2</sup>	Pr > F
Tiempo-CE <sup>†</sup> lixiviado arena	CE = 2.0962 + 0.0557 t	0.9875	0.032
Tiempo-CE lixiviado perlita	CE = 1.1866 + 0.0415 t	0.9221	0.031
Tiempo-CE lixiviado a-v	CE = 17.8290 - 0.0868 t	0.7897	0.000

<sup>†</sup> CE = conductividad eléctrica; t = tiempo; a-v = arena-vermicompost.

### Productividad del Uso de Agua

La productividad se define en cualquier sistema como la relación resultante entre los insumos (entradas) y los productos elaborados (salidas). Bajo este concepto, la productividad del agua fue el índice resultante entre la cantidad de agua utilizada durante el ciclo y el producto ó salida, la producción total (UN-WWDR, 2006). El mayor coeficiente de productividad de 22.16 kg m<sup>-3</sup> se obtuvo al aplicar el volumen total diario requerido, fraccionado en cuatro riegos (Cuadro 5), superando lo encontrado por Al-Omran *et al.* (2010) que reportaron 17.01 kg m<sup>-3</sup>. El volumen total aplicado fue de 2900 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, lo cual es menor respecto al recomendado para este tipo de sistema de producción, que son superiores a los 6000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (Albiac y Tapia, 2004). Esta diferencia favorable se atribuye a la reducida lámina aplicada, ocasionada por la poca evapotranspiración por efecto del invernadero y la época de cultivo. Además de la alta eficiencia de uniformidad de emisión del sistema que abasteció con mayor precisión el volumen diario requerido por la planta mediante las distintas frecuencias de riego evaluadas.

### CONCLUSIONES

El volumen lixiviado de solución nutritiva es afectado por la frecuencia de riego en la etapa vegetativa y por el sustrato durante la floración y fructificación, en otoño-invierno y bajo condiciones de invernadero. La utilización de arena como sustrato disminuye el volumen de lixiviados independientemente de las frecuencias de riego que se apliquen durante el día; aunque, en la etapa vegetativa del cultivo se presentó el menor volumen de solución retenido en este sustrato. Asimismo, las plantas de tomate cuando reciben cuatro riegos diarios en sustratos de arena tienen un rendimiento (2.90 kg planta<sup>-1</sup>) mayor que cuando se utilizan sustratos como perlita o mezclas de arena-vermicompost. Los resultados en esta investigación muestran que se puede obtener una eficiencia en el uso del agua de hasta 22.16 kg m<sup>-3</sup>, cuando se aplica el riego con una frecuencia de cuatro veces por día. Este estudio demostró que la productividad del agua se incrementa cuando se utiliza un sistema de riego calibrado y la cantidad de agua cumple con los requerimientos para satisfacer las necesidades del cultivo durante el día. Asimismo, el tipo de sustrato juega un papel preponderante en el uso eficiente del agua y por ende de la solución nutritiva,

**Cuadro 5. Rendimientos por planta para los diferentes números de riego en el sustrato arena y productividad en el uso del agua.**

Riegos	Rendimiento		Aplicación diaria	Aplicación total	Productividad del agua
	kg planta <sup>-1</sup>	kg m <sup>-2</sup>	L m <sup>-2</sup>	m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup>	kg m <sup>-3</sup>
1	2.53 b	5.57 b	0.29	1.81	19.34 b
2	2.66 b	5.83 b	0.29	1.81	20.25 b
3	2.37 b	5.21 c	0.29	1.81	18.11 c
4	2.90 a	6.31 a	0.29	1.81	22.16 a
5	2.45 b	5.37 c	0.29	1.81	18.65 c

† Letras distintas en una misma columna, indican diferencias significativas, de acuerdo a la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

pues éste es capaz de disminuir las pérdidas por lixiviación.

### LITERATURA CITADA

- Albiac, J. y J. Tapia. 2004. El modelo para el análisis del sector agrario: Necesidades hídricas de los cultivos. Instituto Juan de Herrera. Madrid, España. <http://www.habitat.aq.upm.es/boletín/n27/ajalb4.htm> (Consulta: febrero 20, 2010).
- Al-Omran, A. M., A. R. Al-Harbi, M. A. Wahb-Allah, M. Nadeem, and A. Al-Eter. 2010. Impact of irrigation water quality, irrigation systems, irrigation rates and soil amendments on tomato production in sandy calcareous soil. *Turk. J. Agric. For.* 34: 59-73.
- Soumaré, M., F. M. Tack, and M. G. Verloo. 2003. Effects of municipal solid waste compost and mineral fertilization on plant growth in two tropical agricultural soils of Mali. *Bioresour. Technol.* 86: 15-20.
- ASAE (American Society of Agricultural Engineers). 1991. Standards, engineering practices, and data. Field evaluation of microirrigation systems. St. Joseph, MI, USA.
- Bunt, A. C. 2005. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. pp. 301-354. *In*: C. Cadahía L. (ed) Fertirrigación. Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. Mundi-Prensa, Madrid España.
- Cadahía L., C. 2005. Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Camacho Ferre, F. 2003. Técnicas de producción en cultivos protegidos. Caja Rural Íter Mediterránea, Cajamar. Almería, España.
- Casanova P., M., I. Messing, A. Joel, and A. Cañete M. 2009. Methods to estimate lettuce evapotranspiration in greenhouse conditions in the central zone of Chile. *Chilean J. Agric. Res.* 69: 60-70.
- Castillo, J. E., F. Herrera, R. J. López B., L. López B., and E. J. Fernández. 2004. Municipal solid waste (MSW) compost as a tomatoe transplant medium. *Compost Sci. Util.* 21: 86-92.
- Cavins, T. J., B. E. Whipker, and W. C. Fonteno. 2005. Timing of pourthru affects pH, electrical conductivity, and leachate volume. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 36: 1573-1581.
- Cooke, A. J., R. K. Rowe, and B. E. Rittmann. 2005. Modelling species fate and porous media effects for landfill leachate flow. *Can. Geotech. J.* 42: 1116-1132.
- Doorenbos, J. y W. O. Pruitt. 1977. Las necesidades de agua de los cultivos. FAO. Riego y Drenaje, No. 24. Roma, Italia.
- Dorai, M., A. P. Papadopoulos, and A. Gosselin. 2001. Influence of electrical conductivity management on greenhouse tomato yield and fruit quality. *Agronomie* 21: 367-383.
- Fernández, M. D., F. Orgaz y J. López-Gálvez. 1995. La demanda evaporativa en el invernadero parral. I Simposium Iberoamericano sobre: Aplicación de plásticos en las tecnologías agrarias. *Actas*: 233-241. El Ejido, Almería, España.
- Hanks, R. J. 1992. Applied soil physics. Soil water and temperature applications. Springer-Verlag. New York, NY, USA.
- Heiskanen, J. 1995. Physical properties of two-component growth media based on Sphagnum peat and their implication for plant-available water and aeration. *Plant Soil* 172: 45-54.
- Hillel, D. 1982. Introduction to soil physics. Academic Press. Orlando, FL. USA.
- Hsiao, T. C. 1973. Plant responses to water stress. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 24: 519-570.
- Jackson, D. K. 2004. Some characteristics of perlite as an experimental growth medium. *Plant Soil* 40: 161-167.
- Katerji, N., J. W. van Horn, A. Hamdy, and M. Mastrorilli. 1998. Response of tomatoes, a crop of indeterminate growth, to soil salinity. *Agric. Water Manage.* 38: 59-68.
- Levy, J. S. and B. R. Taylor, 2003. Effects of pulp mill solids and tree composts on early growth of tomatoes. *Bioresour. Technol.* 89: 297-305.
- Malash, N., T. J. Flowers, and R. Rabag. 2005. Effect of irrigation systems and water management practice using saline and non-saline water on tomato production. *Agric. Water Manage.* 78: 25-38.
- Márquez-Hernández, C., P. Cano-Ríos, Y. I. Chew-Madinaveitia, A. Moreno-Reséndez y N. Rodríguez-Dimas. 2006. Sustratos en la producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Rev. Chapingo Serie-Horticultura* 12: 183-188.
- Martínez, D. A., A. M. Landini, H. Svartz, L. Vence, L. Bottini, L. Mascarini, S. Orden y F. Villela. 2006. Propiedades físicas e hidráulicas de perlita en cultivo de rosas y sus variaciones temporales. *Cienc. Suelo* 24: 177-182.
- Moneruzzaman, K. M., A. B. M. S. Hossain, W. Sani, M. Saifuddin, and M. Alenazi. 2009. Effect harvesting and storage conditions on the post harvest quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) cv. Roma VF. *Aust. J. Crop Sci.* 3: 113-121.
- Moreno-Reséndez, A., M. T. Váldez P. y T. Zarate L. 2005. Desarrollo de tomate en sustratos de vermicompost/arena bajo condiciones de invernadero. *Agric. Téc.* 65: 26-34.

- Nuez V., F. 2001. El cultivo del tomate. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Ochoa-Martínez, E., U. Figueroa-Viramontes, P. Cano-Ríos, P. Preciado-Rangel, A. Moreno-Reséndez y N. Rodríguez-Dimas. 2009. Té de composta como fertilizante orgánico en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero. Rev. Chapingo Serie-Horticultura 15: 245-250.
- Ouma, G. 2007a. Morphological and physiological parameters of avocado (*Persea americana*) rootstock seedling as affected by different container sizes and different levels irrigation frequency. J. Biol. Sci. 7: 833-840.
- Ouma, G. 2007b. Effect of different container sizes and irrigation frequency on the morphological and physiological characteristics of Mango (*Mangifera indica*) rootstock seedlings. Int. J. Bot. 3: 260-268.
- Ozenc, D. B. 2008. Growth and transpiration of tomato seedlings grown in Hazelnut Husk compost under water-deficit stress. Compost Sci. Util. 16: 125-131.
- Radin, B., C. Reisser J., R. Matzenauer e H. Bargamaschi. 2004. Crecimiento de cultivares de alface conduzidas em estufa e a campo. Hort. Bras. 22: 178-181.
- Safi, B., M. R. Neyshabouri, A. H. Nazemi, S. Masshia, and S. M. Mirlatifi. 2007. Water application uniformity of a subsurface drip irrigation system at various operating pressures and tape lengths. Turk. J. Agric. For. 31: 275-285.
- SAS/STAT. 1998. SAS/STAT user guide. The GLM procedure. [Http://v8doc.sas.com/sashtml/stat/chap30/index.htm](http://v8doc.sas.com/sashtml/stat/chap30/index.htm). (Consulta: abril 27, 2007).
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. Proceeding of the Sixth Int. Congress on Soilless Culture. International Society for Soilless Culture. Lunteren, The Netherlands.
- Sumner, M. E. 2000. Handbook of soil science. CRC Press. Boca Raton, FL, USA
- UN-WWDR (The United Nations World Water Development Report). 2006. Water a shared responsibility. The United Nations World Water Development Report 2. UNESCO. Barcelona, España.
- Western Seed. 2005. Westernseed products. [http://www.Western\\_usa.com/products\\_details.asp?product=25&productgroup=1&lan](http://www.Western_usa.com/products_details.asp?product=25&productgroup=1&lan) (Consulta: octubre 25, 2005).