

COLECTA DE AGUA DE LLUVIA PARA PRODUCCIÓN DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum*, Mill.) EN INVERNADERO Y SU INFLUENCIA EN LA CALIDAD DEL FRUTO

Cisneros Almazán R., Hernández Romero D., Chávez Vázquez J.R.

INTRODUCCIÓN.

La escasez de agua afecta muchas actividades productivas del hombre, entre las que destacan la producción agrícola y pecuaria (Alfaro, 2009 y Casanova, 2000). En este contexto, se hace necesaria la búsqueda de opciones de manejo y aprovechamiento de agua, para ser utilizada tanto para fines productivos como para domésticos.

Una de las opciones con las que se cuenta para resolver el aspecto de producción de alimentos es la cosecha de agua de lluvia. La utilización de agua de lluvia ha estado presente por muchas generaciones, como una forma de suplir las necesidades de agua para diferentes usos, como la agricultura, la atención de animales y el uso doméstico. Aunque por mucho tiempo ha sido relegada como una fuente de agua para las diversas actividades, en los últimos años esta práctica ha venido recobrando fuerza (Rodríguez *et al.*, 2010).

Uno de los cultivos que pueden ser beneficiados con este sistema es el tomate, el cual es uno de los cultivos con más importancia en todo el mundo, utilizado como hortaliza.

JUSTIFICACIÓN.

La sobrexplotación de las aguas subterráneas para la producción de alimentos tiene serias implicaciones. Aproximadamente 3600 km³ son extraídos para consumo humano, siendo la agricultura el sector que más agua consume en casi todo el mundo.

Es importante distinguir entre el agua que es extraída y el agua que es consumida realmente. El riego consume la mayor parte del agua que se extrae como resultado de la evaporación, incorporación a los tejidos de las plantas y transpiración de los cultivos. Las cifras de las extracciones para la agricultura no incluyen las lluvias que benefician la agricultura de secano. En realidad, el agua de lluvia produce más alimentos que el agua de riego, considerando además que el agua de lluvia también contribuye a la agricultura de riego.

La extracción se hace más crítica por la situación actual de los acuíferos. De acuerdo con los resultados de estudios recientes, se observa que existe cierta movilidad en los acuíferos

que alcanzan el grado de sobreexplotación de sus aguas. Algunos acuíferos se alejan de esa condición y otros más se suman, de tal forma que el número total de acuíferos sobreexplotados, definidos estos como aquellos que presentan un volumen de extracción real superior al valor de la recarga incluso en más de un 10%, totalizan 101 para fines del año 2008 (CONAGUA, 2009).

Objetivo General

Establecer un sistema piloto de cosecha de agua de lluvia y evaluar el efecto sobre el rendimiento y la calidad del fruto del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en condiciones de invernadero.

I.- Disponibilidad y distribución del agua en México

1.1.- Situación del agua en México

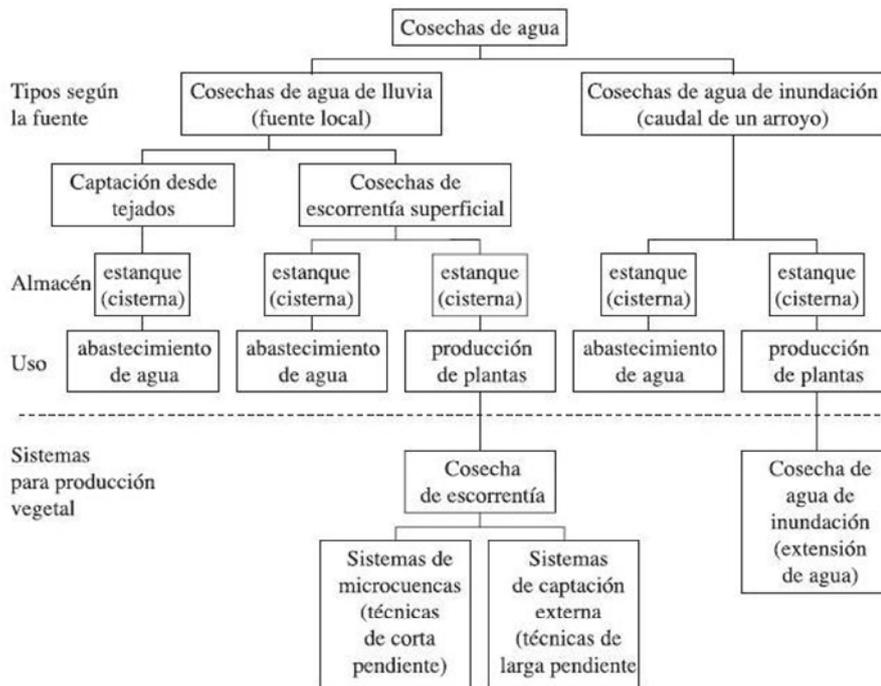
En el país existen enormes diferencias regionales en la disponibilidad de agua. La disponibilidad natural media de agua por habitante, que resulta de dividir el valor nacional entre el número de habitantes, ha disminuido de 18,035 m³/hab/año en 1950, a tan solo 4,312 m³/hab/año en el 2007. Así, mientras que en las zonas norte y centro de México se asienta el 77% de la población, se genera el 87% del PIB y sólo se tiene una disponibilidad natural de 1,734 m³/hab/año; mientras que en el sur la disponibilidad del vital líquido es de 13,097 m³/hab/año, pero se genera únicamente el 13% del PIB.

El incremento en la población hará que la disponibilidad natural media per cápita de agua, a nivel nacional, disminuya de 4,312 m³/hab/año en el 2007 a 3,783 m³/hab/año en el año 2030. Además, es importante señalar que en el territorio nacional se encuentran 653 acuíferos, de los cuales 104 ubicados en la zona norte y centro del país, han sido ya sobreexplotados (CONAGUA, 2009).

II.- Sistemas de cosecha de agua de lluvia (SCALL)

Un sistema de cosecha de agua sería aquel que facilita la recolección y almacenaje de agua de escorrentía, que puede utilizarse para abastecimiento doméstico o para cultivos. Los principales objetivos son combatir los efectos de la sequía, la mejora en la producción de cultivos, y en algunos casos, rehabilitar zonas abandonadas y/o degradadas (Critchley y Reij, 1989).

Figura 1. Clasificación de las técnicas de recolección de agua



Fuente: Siegert, 1994

2.1.- Parámetros a considerar para establecer un SCALL

Los parámetros más importantes a considerar para el establecimiento de áreas para cosechar agua son los siguientes: Lluvia, Cobertura vegetal, Topografía y perfil del terreno, Profundidad y tipo de suelo, Hidrología y recursos hidráulicos, Condiciones de infraestructura y socioeconómicos, Impactos ambientales y ecológicos, Coeficiente de afluencia del agua (Prinz y Wolfer, 1999).

2.2.- Sistemas de cosecha de agua de lluvia y agricultura

En las regiones semiáridas las precipitaciones recibidas son limitadas y es por eso que el uso del agua en la producción agrícola tiene que ser optimizada. Un método para lograr esto es mediante el uso de agua de lluvia. Aunque las lluvias sean escasas pueden ser colectadas para la producción de cultivos (Sánchez *et al.*, 1995).

III.- Desarrollo Metodológico del Experimento

3.1.- Ubicación y descripción de la zona de estudio

El proyecto se llevó a cabo en la Zona Universitaria Poniente (ZUP) del Estado de San Luis Potosí, México, que se localiza en la parte suroeste de la ciudad con el mismo nombre y se encuentra delimitada por las coordenadas 22° 08' 41.36" latitud Norte y 101° 00' 55.16" longitud Oeste, a una altura que varía de los 1902 msnm en la parte sur de la Zona Universitaria hasta los 1884 msnm en la parte norte, la temperatura media anual es 18.2 °C, la temperatura mínima promedio es de 8.4 °C que se presenta en el mes de enero y la máxima promedio es de 32 °C y se presenta en el mes de mayo; la precipitación media anual es de 364.1 mm, siendo la máxima de 571.7 mm y la mínima de 155.2 mm.

3.2.- Método de cosecha de agua de lluvia

La cosecha de agua de lluvia se realizó utilizando la superficie del techo del antiguo Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería, tomando sólo un lado, representando un área de captación de 360 m² (18 x 20 m). El agua de lluvia colectada fue utilizada para dar el servicio de riego agrícola al invernadero de 80 m². Este invernadero contaba también con una toma de agua alternativa de pozo.

Para calcular la demanda de agua dentro del invernadero, se utilizó la siguiente fórmula (UNATSABAR, 2001), siendo originalmente utilizada para la determinación de la demanda de agua en personas, adaptándola en este trabajo para plantas:

$$D_i = \frac{Nu \times Nd \times Dot}{1000}$$

Siendo:

Nu: número de elementos que se benefician del sistema

Nd: número de días del mes analizado

Dot: dotación (L planta⁻¹ x día)

Di: demanda mensual (m³)

En el caso del presente proyecto, un elemento será considerado una planta con el objeto de poder calcular la demanda de agua dentro del invernadero. Así, la demanda diaria y mensual por cada planta, será como se muestra en los cuadros 1 y 2 respectivamente:

Cuadro 1. Demanda diaria por planta (litros)

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
1.26	1.54	2.13	2.59	3.0	2.90	2.52	2.40	1.87	1.71	1.53	1.18

Cuadro 2. Demanda total mensual para 72 plantas (m³)

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2.812	3.024	3.348	3.240	3.348	3.240	3.348	3.348	3.240	3.348	3.240	3.348

La cantidad de agua que posible colectar se calculó con la siguiente fórmula (UNATSABAR, 2001):

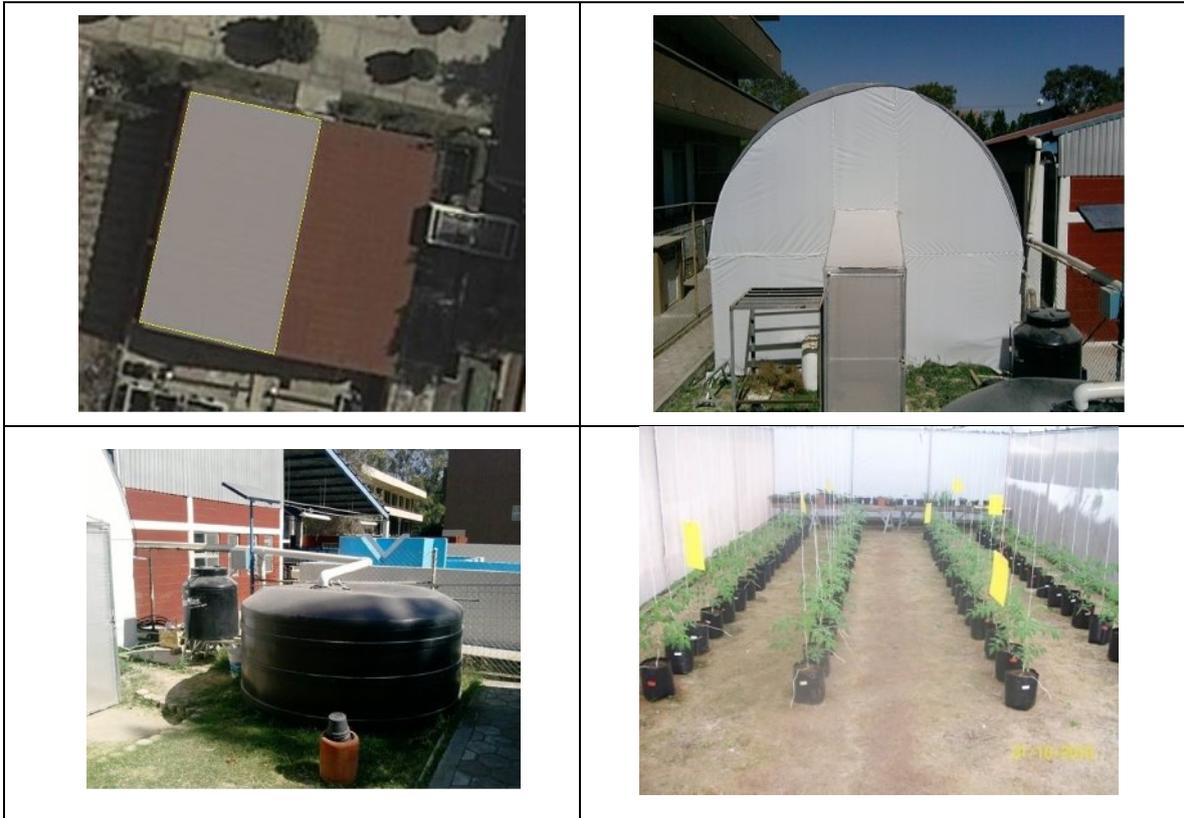
$$A_i = \frac{P_{pi} \times Ce \times Ac}{1000}$$

Siendo:

- Ppi: precipitación promedio mensual (m)
- Ce: coeficiente de escorrentía (adimensional)
- Ac: área de captación (m²)
- Ai: oferta de agua en el mes i (m³)

Los datos utilizados en este proyecto para la determinación de la cantidad de agua posible a cosechar son 0.327 m de precipitación media anual, un área de captación de 360 m², un coeficiente de escorrentía (techo de metal) de 0.9, y un estimado de agua a cosechar de 117.96 m³.

Teniendo como base los valores obtenidos en la determinación de la demanda y oferta mensual de agua de lluvia, se procedió a calcular el volumen de la cisterna cuyo valor fue de 63.96 m³. Sin embargo para fines de experimentación sólo se estableció una cisterna de 6 m³. Las siguientes imágenes muestran el sitio de experimentación.



3.3.- Cultivo establecido

Se estableció el cultivo de tomate bola (*Lycopersicon esculentum*, Mill.) var. Imperial, de hábito indeterminado.

3.4.- Establecimiento del cultivo

El cultivo se estableció con una densidad de 2.5 plantas m² lográndose con una distancia entre plantas de 0.4 m y una distancia entre hileras de 1.0 m, para una población total de 72 plantas en el invernadero, cada planta contenida en una bolsa de polietileno de color negro, con capacidad de 4.5 litros con una mezcla de arena y vermicomposta (75:25) como sustrato (Rodríguez *et al.*, 2008).

3.5.- Solución nutritiva utilizada

Una vez trasplantadas, la nutrición se llevó a cabo mediante la solución nutritiva propuesta por Hochmuth y Hochmuth (1996).

3.6.- Diseño experimental

El diseño experimental fue completamente al azar. Este diseño constó de 4 tratamientos, 6 repeticiones y 24 unidades experimentales útiles.

Los tratamientos fueron asignados de la siguiente manera: T1 = agua de lluvia + solución nutritiva; T2 = agua de lluvia sin solución nutritiva; T3 = agua de la red + solución nutritiva; y T4 = agua de la red sin solución nutritiva.

3.7.- Variables medidas y materiales utilizados

Las variables a determinar fueron: altura de planta, diámetro de tallo, área foliar y producción (rendimiento comercial y rendimiento total); además se realizaron análisis de extracto celular de peciolo para cuantificar nitrógeno nítrico (N-NO₃), potasio (K), y fósforo (P-PO₄). En cuanto a los frutos se realizaron las siguientes determinaciones: firmeza, °Brix, color con el espacio CIELAB, contenido de carotenoides, acidez titulable (% ácido cítrico) y pH.

IV.- Resultados

4.1.- Físicoquímica y bacteriología de las aguas recolectadas

Los resultados obtenidos en el análisis físico-químico (cuadro 3) y bacteriológico (cuadro 4), tanto del agua cosechada como del agua de la red, dan como resultado un agua de buena calidad para ser utilizada para riego agrícola, esto al ser comparada con los valores establecidos por la FAO (1994) y por la CONAGUA (2009). Además, tomando en cuenta la clasificación de Riverside, es agua clasificada como C1-S1, la cual se interpreta como “agua de buena calidad apta para el riego”.

Cuadro 3. Análisis físico-químicos y valores recomendados

Parámetros en agua de riego	Rangos usuales en agua de riego*	Valores en agua lluvia (cisterna)**	Valores en agua de la red	Valores agua lluvia (bajante)
Ca ⁺⁺ (me/l)	0-20	0.42	1.5	0.6465
Mg ⁺⁺ (me/l)	0-5	0.0868	0.39032	0.02378
Na ⁺ (me/l)	0-40	0.111	1.42631	0.05461
CO ₃ ⁼ (me/l)	0-0.1	0	0	0
HCO ₃ ⁼ (me/l)	0-10	0.243	2.743064	0.31078
Cl ⁻ (me/l)	0-30	0.214	0.62972	0.08456
SO ₄ ⁼ (me/l)	0-20	0.189	0.609	0.273
NO ₃ -N (mg/l)	0-10	0.78	-	0.26
K ⁺ (mg/l)	0-2	0.81	4.21	0.7
pH	1-14	7.33	7.51	7.2

C.E (dS/m)	0-3	0.147	0.395	0.0691
TDS	0-2000	27.95	200	35
SAR (me/l)	0-15	0.061	1.4671	0.0943

*Fuente: FAO, 1994

** Promedio de 3 análisis

Cuadro 4. Análisis bacteriológicos y rangos permisibles para el agua de riego

Cantidad permisible Coliformes fecales*	Agua de lluvia (cisterna)	Agua de lluvia (sedimentador)
1000 NMP/100 ml	2.6 NMP/ 100 ml	28 NMP/100 ml

*Fuente: CONAGUA, 2009

4.2.- Análisis nutrimental

Los resultados del ECP se presentan en el siguiente cuadro, los cuales al ser comparados con los valores descritos por la Universidad de Florida, citados por Castellanos *et al.*, (2000) y por los valores descritos por el Colegio de Postgraduados (2010), se podrá observar que los valores de N-NO₃⁻ y de K se sitúan por debajo de los valores óptimos para estos nutriente en el cultivo del tomate en los cuatro tratamientos, mostrándose valores más altos en T1 y T3 debido a lo aportado tanto por el agua utilizada para riego, por lo aportado por la solución nutritiva, así como por lo aportado por la vermicomposta utilizada en el sustrato; caso contrario con los valores de P, los cuales se muestran dentro del rango óptimo de este nutriente para el presente cultivo para los cuatro tratamientos, aun así los resultados de producción obtenidos en este trabajo para T1 y T3 están dentro de los rangos producidos comercialmente.

Cuadro 5. Resultados de los ECP.

Tratamiento	(ppm)								
	Trasplante a segundo racimo con fruto.			Del segundo racimo al quinto fruto por racimo			Época de cosecha (Diciembre-Junio)		
	N-NO ₃	K	P	N-NO ₃	K	P	N-NO ₃	K	P
T1	497.74	1800	208.18	452.49	1900	192.19	542.99	1900	199.04
T2	95.02	1900	201.65	101.81	1850	203.61	97.29	1800	189.25
T3	429.86	2700	214.71	475.11	2800	207.85	497.74	2600	210.79
T4	138.01	2500	214.71	142.53	2600	210.79	140.27	2750	218.62

Cuadro 6. Niveles de suficiencia en ECP para el cultivo de tomate.

Etapa fenológica	ppm	
	N-NO ₃	K
Trasplante a segundo racimo con fruto	1000-1200	4500-5000
Del segundo racimo al quinto fruto por racimo	800-1000	4000-5000
Época de cosecha (Dic-Jun)	700-900	3500-4000

Fuente: Castellanos *et al.*, 2000.

Cuadro 7. Rangos óptimos para el ECP en tomate.

Etapa fenológica	ppm	
	N-NO ₃	K
Vegetativa	500-800	3000-4000
Floración	400-800	3000-4000
1er cosecha-última cosecha	400-800	3500-5000

Fuente: Colegio de Postgraduados, 2010.

Cuadro 8. Rangos óptimos de P para el ECP en tomate.

DDT*	P (ppm)
25.00	180-400
50.00	180-400
75.00	180-400
Cosecha	180-400

Fuente: Castellanos y Ojodeagua, 2009.

* DDT: Días Después del Transplante.

5.3.- Diámetro de tallo

El ANAVA muestra efectos altamente significativos ($P \leq 0.01$) de los tratamientos sobre los diámetros de los tallos de las plantas, los valores mayores correspondieron a los tratamientos T1 y T3 (cuadro 9) los cuales recibieron un mayor nivel de nutrición, sobre todo de elementos estructurales como N, Mg y Ca, dando por resultado plantas con un mejor desarrollo. Castellanos (2009) señala que una deficiencia de N (como en T2 y T4) tiende a reducir el diámetro del tallo y a acortar los entrenudos.

5.4.- Altura de planta

Para esta variable el ANAVA encontró efectos altamente significativos ($P \leq 0.01$) de los tratamientos sobre la altura de las plantas. Por su parte la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) muestra que en T1 se presentaron las plantas más altas, y enseguida T3, siendo ambos

tratamientos estadísticamente iguales pero diferentes a T2 y T4 (cuadro 9), en éstos se presentaron las plantas de menor altura, debido a una inadecuada nutrición principalmente a la deficiencia de N, ya que éste es un elemento fundamental en el crecimiento y producción del cultivo (Castellanos, 2009). Por su parte Chamarro (2001) señala a la nutrición como uno de los numerosos factores que influyen en el desarrollo de las plantas de tomate.

5.5.- Área foliar

Se encontraron efectos altamente significativos (ANAVA: $P \leq 0.01$) de los tratamientos en el área foliar de las plantas. La prueba de Tukey ($P \leq 0.05$), indica que en T1 y T3 se encontraron los valores más altos para esta variable (cuadro 9), al igual que las otras dos variables anatómicas, una mejor nutrición sobre todo de N, Mg y Ca se tradujo una mayor área foliar. Los valores encontrados resultaron muy similares a los obtenidos por Páez *et al.*, (2000), reportando una área foliar en plantas de tomate de aproximadamente 1200 cm².

Cuadro 9. ANAVA y prueba de medias para las características anatómicas de las plantas.

Tratamientos	Diámetro del tallo (mm)	Altura de planta (m)	Area Foliar (cm ²)
T1	13.48 a	2.19 a	1491.74 a
T2	9.80 d	1.19 b	177.49 b
T3	12.74 b	2.18 a	1406.15 a
T4	10.42 c	1.11 b	569.33 b
Valor de F	197.00**	282.00**	17.92**
CV %	13.76	32.22	73.00

** Altamente significativo ($P \leq 0.01$). CV % = Coeficiente de variación en porcentaje. Letras iguales en una misma columna no son estadísticamente diferentes Tukey ($P \leq 0.05$).

5.5.- Firmeza de frutos

Mediante el ANAVA se encontraron efectos altamente significativas ($P \leq 0.01$) de los tratamientos sobre la firmeza de los frutos, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) en T4 se encontraron los frutos con mayor firmeza (cuadro 10), debido a que este tratamiento arrojó los frutos con menor diámetro, observándose que a menor diámetro, mayor resistencia del pericarpio a la penetración.

5.6.- °Brix de los frutos

Para el contenido de °Brix el ANAVA encontró efectos altamente significativos ($P \leq 0.01$) de los tratamientos sobre los °Bx de los frutos. Los frutos que tuvieron más azúcares se presentaron en los tratamientos T3 y T1 respectivamente. Estas diferencias entre tratamientos con y sin solución nutritiva se explican por la mayor C.E. de los tratamientos a

los que se les aplicó solución nutritiva. Resultados similares fueron reportados, para el cultivo de la piña, por Ivo *et al.* (1984). De acuerdo con Cook y Sanders (1990) el valor de °Bx obtenido en los frutos se encuentra dentro del rango considerado como bueno, el cual es igual o mayor a 4

5.7.- pH de los frutos

El ANAVA encontró un efecto altamente significativo de los tratamientos sobre el pH de los frutos. La prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) evidencia que en T2 se presentaron los valores más altos de pH, este resultado muestra una menor acidez en los frutos regados únicamente con agua de lluvia (cuadro 10). Los valores del pH en los tratamientos resultaron similares a los obtenidos por Murillo *et al.* (1993), los cuales oscilan entre 4.39 y 4.80. Por su parte Aguayo y Artés (2004) consideran que para tener un aroma y sabor óptimos, los tomates deben tener un contenido de sólidos solubles de entre 4 y 6 °Bx y un pH entre 4 y 5.

5.11.- Relación a*/b* de los frutos

Para la relación a*/b* el ANAVA no encontró efectos de los tratamientos. En lo que respecta a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) los valores oscilan entre 0.80 a 0.93. Los resultados del ANAVA reflejan una aceptable homogeneidad en la madurez de los frutos muestreados, ya que el valor de la relación a*/b* es el que presenta la mejor correlación con la madurez del tomate (Zapata *et al.*, 2007). Los resultados obtenidos son similares a los obtenidos por Zapata *et al.* (2007) para las etapas de maduración y comercialización (0.67 y 0.92 respectivamente).

5.12.- Licopenos de los frutos

El ANAVA para los valores del contenido de licopenos en los frutos, no encontró efecto de los tratamientos. La prueba muestra valores entre 4.44 y 4.92 mg 100 g⁻¹ (cuadro 10) debido a que el contenido de licopenos en los frutos de tomate depende en gran medida de la variedad con la que se trabaje, siendo en este caso la misma variedad. Los resultados obtenidos, coinciden con los reportados por Chávez (2009) y por Zapata *et al.* (2007), además, se encuentran dentro del rango óptimo (3.1-7.7 mg 100 g⁻¹) que reportan Levy y Sharoni (2004) citados por Zapata *et al.* (2007). Giovannucci *et al.* (1995) recomiendan un consumo diario de 6.5 mg como valor efectivo para prevenir el cáncer de próstata.

5.13.- β-carotenos de los frutos

El ANAVA no encontró efecto de los tratamientos sobre el contenido de β-carotenos de los frutos, comportándose de la misma manera que los licopenos, es decir, siendo afectado

solamente por el grado de madurez y el genotipo. Los valores obtenidos con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) oscilan entre 0.11 y 0.12 mg 100 g⁻¹. Los resultados, que se muestran son muy similares a los obtenidos por Zapata *et al.* (2007), siendo estos valores: 0.10 mg 100 g⁻¹, para la etapa de maduración y 0.11 mg 100 g⁻¹ para la etapa de comercialización.

5.14.- Acidez titulable en los frutos

No se encontraron efectos significativos (ANAVA: $P \leq 0.05$) de los tratamientos sobre la acidez titulable (% ácido cítrico) de los frutos, resultando según Tukey ($P \leq 0.05$), los porcentajes más altos en T1 y T3 (cuadro 10) siendo estos los tratamientos con fertilización. Chamarro (1995) señala que la acidez del tomate aumenta con la fertilización nitrogenada en la que los nitratos son más eficaces que la forma amónica, situación que se observa en T1 y T3. Siller y Báez (2009) mencionan que en tomate verde-maduro, la concentración de ácido se encuentra entre 0.4 y 0.5 % y disminuye hasta valores de 0.2 y 0.3 % cuando los frutos están maduros o en coloración roja, como las muestras utilizadas. Por su parte, Aguayo y Artés (2004) consideran que para tener un aroma y un sabor óptimos, los tomates deben tener un contenido de sólidos solubles (SST) de entre 4 y 6 °Brix, una acidez entre 0.2 y 0.6 % y un pH entre 4 y 5.

Cuadro 10. ANAVA y prueba de medias para los parámetros de calidad de los frutos de tomate.

Tratamientos	Firmeza (kg)	°Bx	Índice de color a*/b*	Licopenos (mg 100 g ⁻¹)	β-carotenos (mg 100 g ⁻¹)	A.T (% Ac. cítrico)	pH
T1	1.77 ab	4.71 a	0.93 a	4.92 a	0.12 a	0.25 a	4.80 ab
T2	1.39 b	4.28 b	0.91 a	4.86 a	0.12 a	0.22 ab	4.95 a
T3	1.90 ab	4.79 a	0.88 a	4.74 a	0.12 a	0.25 a	4.73 b
T4	2.49 a	4.27 b	0.80 a	4.44 a	0.11 a	0.19 b	4.72 b
Valor de F	5.16**	9.04**	1.00 ^{ns}	1.00 ^{ns}	1.00 ^{ns}	4.31**	3.87**
C.V. %	32.47	7.18	16.35	11.00	11.15	17.76	3.19

** Altamente significativo. C.V. % = Coeficiente de variación en porcentaje. Letras iguales en una misma columna no son estadísticamente diferentes Tukey ($P \leq 0.05$).

5.15.- Rendimiento comercial de frutos de tomate

El ANAVA encontró efectos significativos de los tratamientos sobre la producción de los frutos, presentándose los mayores rendimientos en T1 y T3 respectivamente, los cuales resultaron estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), esto debido a que fueron los tratamientos con solución nutritiva (Figura 2). Estos tratamientos obtuvieron rendimientos superiores a los 2 Kg m⁻² por corte, superando los reportados en tomate bola por Chávez (2009) quien utilizó la misma solución nutritiva en tres sustratos diferentes: tezontle (1.36), fibra de coco (1.15) y perlita (0.95). Por su parte Nuño (2007)

reporta un rendimiento de 2.47 Kg m⁻² por corte, para un tomate rojo producido en invernadero y enarenado.

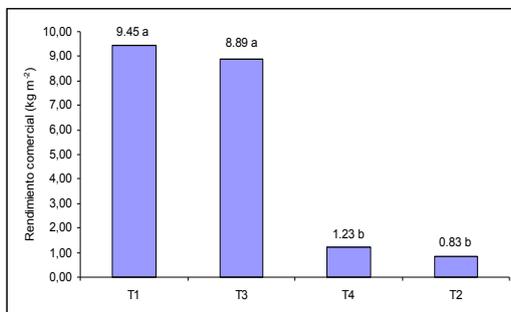


Figura 2. Efecto de los tratamientos en el rendimiento comercial de frutos de tomate bola.

5.16.- Rendimiento total de frutos de tomate

El rendimiento total de frutos, se refiere a la producción de todos los frutos de las plantas por tratamientos, incluyendo a los frutos de diámetro menor a 54 mm, los cuales se consideraron como no comerciales. El ANAVA para esta variable indicó un efecto altamente significativo ($P \leq 0.01$) de los tratamientos sobre el rendimiento total de los frutos. Al analizar las diferencias entre medias, se encontró que los tratamientos en los que se aplicó la solución nutritiva T1 y T3, fueron los que obtuvieron los mayores rendimientos 2.45 y 2.30 Kg m⁻² por corte respectivamente, en tanto T2 y T4 representaron los valores más bajos como puede observarse en la Figura 3. Esta diferencia se debe en gran medida a que no recibieron la solución nutritiva, lo cual se vio reflejado en una menor área foliar (ver cuadro 16), provocando con esto una menor superficie fotosintética, teniendo como consecuencia una menor producción de frutos.

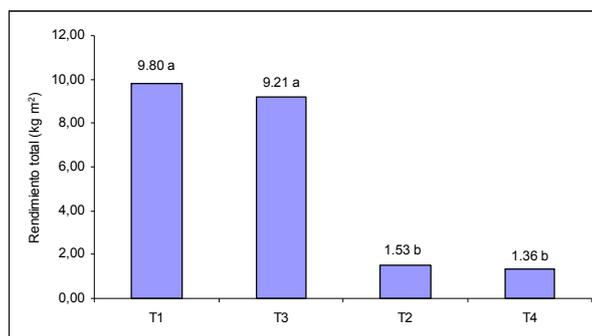


Figura 3. Efecto de los tratamientos en el rendimiento total de frutos de tomate bola.

Estos resultados reflejan por una parte la estrecha relación con los valores encontrados con el rendimiento comercial, y por otra parte, la importancia de suministrar los nutrientes a las plantas para satisfacer sus requerimientos e incrementar la producción. Los valores obtenidos son similares a los reportados por Chávez (2009), los cuales oscilan entre 1.0 y 1.38 Kg m⁻² por corte, tomando en cuenta que los valores de producción obtenidos en el presente trabajo son el promedio de 4 cortes.

En lo que se refiere a la calidad de los frutos en el sistema SCALL (T1 y T3), se observaron valores altos en el índice de color a*/b* (0.93 y 0.91), licopenos (4.92 y 4.86), β-carotenos (0.12 y 0.12) y pH (4.80 y 4.95), en lo que respecta a otras variables consideradas importantes para evaluar la calidad de los frutos, estos tratamientos se obtuvieron valores de 4.71 y 4.28 °Brix, así como 0.25 y 0.22 de acidez titulable, respectivamente, los valores de estos dos parámetros, junto con los valores de pH ya mencionados, según Aguayo y Artés (2004) se consideran aceptables para que los frutos de tomate tengan un sabor y aroma óptimo.

Con relación a las características anatómicas de las plantas de tomate, en el sistema SCALL con fertilización se obtuvieron las plantas con mayor diámetro de tallo, altura y área foliar, comprobándose por una parte que las características de las plantas están muy ligadas al grado de nutrición y por lo tanto a su productividad, y por otra parte, se concluye que el agua de lluvia por sí sola no es suficiente para satisfacer las necesidades nutrimentales de las plantas en un sistema de producción con sustratos y bajo invernadero, en cambio un sistema SCALL con fertilización puede competir de manera favorable en rendimiento y calidad con otros sistemas de producción tanto convencionales como de mediana y alta tecnología.

V. Conclusiones y Recomendaciones

El Sistema de Cosecha de Agua de Lluvia (SCALL) es una fuente de agua alterna y viable, en cantidad y calidad, para ser utilizada en riego agrícola; esto con base a los resultados de la captación de agua de lluvia en la zona universitaria poniente ubicada en un clima árido, y en los análisis físico-químicos y bacteriológicos realizados al agua.

El SCALL, además de ser una fuente de agua viable y segura, es también un sistema factible para obtener la seguridad alimentaria y económica en corto plazo de las familias que lo adopten.

Será recomendable establecer el mismo experimento utilizando un sustrato totalmente inerte (arena, grava, tezontle, etc.), esto para tener más claro si algunas de las variables son directamente afectadas por el nivel de fertilización suministrado.

Debemos de prestarle atención a las fuentes alternativas para la obtención de agua para los distintos usos humanos (industrial, agrícola, doméstico, etc.), en especial a la cosecha de agua de lluvia ya que, además de ser económicamente viable, conlleva a un beneficio ambiental, esto es porque al utilizarla se propiciaría la reducción del uso de aguas subterráneas, con el beneficio a la sustentabilidad ambiental que esto representaría, como lo es la recuperación de los acuíferos obteniendo con esto su equilibrio.

LITERATURA CITADA

- Aguayo, E. y Artés, F. 2004. Elaboración de tomate mínimamente procesado en fresco. Compendios de Horticultura. 15. Ediciones de Horticultura S. L. Reus (España).
- Alfaro, C. W. 2009. Adaptación a los impactos en desertificación y sequía por el efecto del cambio climático en Chile, mediante de sistemas de cosecha de aguas lluvias. Punto Focal Nacional. Convención UNCCD. Chile.
- Casanova, M. 2000. Cosecha de agua asociada a un sistema *Acacia saligna*/pradera en el secano semiárido interior de la Zona Central de Chile. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. Departamento de Ingeniería y Suelos. Santiago de Chile.
- Castellanos, J. Z., Uvalle Bueno, J. X. y Aguilar Santelises, A. 2000. Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas. Segunda edición. Ed. INCAPA, México. pp. 172-175.
- Castellanos, J. Z. y Ojodeagua, J. I. 2009. Manejo de la Fertirrigación del Tomate en Suelo. En: Manual de Producción de Tomate en Invernadero. Ed. Javier Z. Castellanos. INTAGRI, S. C. Celaya, Gto., México. p. 203.
- Chávez, V., José Régulo. 2009. Efecto e interacción de tres cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) tipo bola y tres sustratos sobre el rendimiento y la calidad del fruto, en invernadero. Tesis profesional de maestría. Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP). Soledad de Graciano Sánchez, S. L. P.

- Colegio de Postgraduados (COLPOS). 2010. Jitomate. Tecnología para su producción en invernadero. Texcoco, Edo. De México. Pág. 136.
- CONAGUA, 2008. Boletín del Archivo Histórico del Agua. Captación de agua de lluvia. México.
- CONAGUA, 2009. Ley Federal de Derechos en Materia de Agua. Diario Oficial de la Federación. 27 de Noviembre, 2009. México.
- Cook, W. P., y Sanders, D. C. 1990. Fertilizer placement effects on soil nitrogen and use by drip-irrigated plastic-mulched tomatoes. Hort. Science 25 (7): 767-769.
- Critchley, W. y Reij, C. 1989. Water harvesting for plant production: Part 2. Case studies and conclusions from sub-Saharan Africa.
- FAO, 1994. Water quality for agriculture.
- Murillo, S., M. M., Borrego, E., F., Rodríguez, H., S. y Ramos, D., F. Caracterización del potencial bioquímico y nutritivo de genotipos sobresalientes de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.)
- Nuño Moreno, R. 2007. Manual de producción de tomate rojo bajo condiciones de invernadero para el Valle de Mexicali, Baja California. Fundación Produce del estado de Baja California. Gobierno del estado de Baja California.
- Páez, A., Paz, V., y López, J. C. 2000. Crecimiento y respuestas fisiológicas de plantas de tomate cv. Río Grande en la época de mayo-julio. Efecto del sombreado. Rev. Fac. Agron. (LUZ). 2000, 17: 173-184.
- Pérez, G. M., Márquez, F. y Peña-Lomelí, A. 1997. Mejoramiento Genético de Hortalizas. Universidad Autónoma Chapingo.
- Prinz, D. y Wolfer, S. 1999. Traditional techniques of water management to cover future irrigation water demand. Z. f. Bewässerungswirtschaft, 34 (1), 41-60. ISSN 0049-8602.
- Rodríguez Quiros, R., Morris Grainger, H. y Morales Hidalgo, D. 2010. Estudio de Viabilidad Técnica y Económica para el Desarrollo de Opciones de Cosechas de Lluvia y Manejo Adecuado en Sistemas de Riego en la Producción Agropecuaria. Universidad Nacional de Costa Rica.
- Sánchez, C.I., Lopes, V.L., Slack, D.C. and Yañez, C.H., 1995. Assessing risk for water harvesting systems in arid environments. J. Soil and Water Cons. 50, 446-449.
- Siller, J. H. y Báez, M. A. 2009. Recolección, Empaque y Manejo Poscosecha de Tomate. p 409-442. En: J. Z. Castellanos (Ed). Manual de Producción de Tomate en Invernadero. Ed. INTAGRI México.
- UNATSABAR (Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural). 2001. Guía de diseño para captación del agua de lluvia. Lima, Perú.
- Zapata, L., Gerard, L., Davies, C., Oliva, L. y Schwab, M. 2007. Correlación matemática de índices de color del tomate con parámetros texturales y concentración de Carotenoides, en: Ciencia, Docencia y Tecnología. N° 34, Año XVIII, mayo de 2007, p. 207-226.