



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

---

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS MONTECILLO  
POSTGRADO EN EDAFOLOGIA**

**USO EFICIENTE DE AGUA Y FERTILIZANTES EN DOS  
SISTEMAS HIDROPONICOS PARA LA PRODUCCION DE  
JITOMATE (*Solanum lycopersicon* L)**

**CAROLINA FABIOLA GAMIÑO CAMACHO**

**T E S I S  
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRA EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO  
2015**

---

La presente tesis titulada: “USO EFICIENTE DE AGUA Y FERTILIZANTES EN DOS SISTEMAS HIDROPÓNICOS PARA LA PRODUCCIÓN DE JITOMATE (*Solanum lycopersicon* L)” realizada por la alumna **Carolina Fabiola Gamiño Camacho**, con la dirección del consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:


**MAESTRA EN CIENCIAS EN EDAFOLOGÍA**

**CONSEJO PARTICULAR**

**CONSEJERO:**

  
\_\_\_\_\_  
DR. PROMETEO SÁNCHEZ GARCÍA

**ASESOR:**

  
\_\_\_\_\_  
DR. VÍCTOR ORDAZ CHAPARRO

**ASESOR:**

  
\_\_\_\_\_  
DR. VÍCTOR HUGO VOLKE HALLER

**ASESOR:**

  
\_\_\_\_\_  
M.C. IGNACIO MIRANDA VELÁZQUEZ

**Montecillo, Texcoco, Estado de México, mayo de 2015**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco profundamente a Dios por brindarme la oportunidad de concluir una etapa más en mi vida que sin duda ha sido enriquecedora.

Reconozco a las instituciones y docentes por el apoyo que me brindaron para concluir este proyecto, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por apoyarme con recursos económicos con el fin de realizar y concluir mis estudios de postgrado.

A la institución educativa "Colegio de Postgraduados" por ofrecerme todos los recursos y herramientas que me facilitaron la realización de mis estudios.

A mi consejo particular, gracias por su aportación educativa en las diferentes etapas de mi investigación, por su valioso tiempo y guía, por ser parte de mi formación.

Al Dr. Prometeo Sánchez García por su apoyo incondicional, por todas sus enseñanzas, por su amistad y enorme calidad humana, que sin su dirección esto no sería posible.

A mi pareja y amigo Israel Carrera que me ha apoyado en toda la travesía que fue la maestría, por su presencia incondicional.

A mis padres Consuelo y Roberto, a mi hermana Cristina, que con sus palabras de aliento me incentivaron a culminar este reto.

A todos los jóvenes que me apoyaron directamente en mi fase de experimentación, tanto de servicio social como verano científico, de verdad, sin ustedes no sería posible.

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mis padres Consuelo Camacho y Roberto Gamiño, que con su ejemplo de perseverancia y valores me han formado en la persona que soy, por su amor incondicional.

A mi pareja Israel Carrera por estar en las buenas y en las malas, ambos sabemos por todo lo que hemos pasado en estos casi 5 años, muchas gracias por estar a mi lado. Vamos por lo que sigue.

A mi hermana Cristina Gamiño por estar presente todos estos años como mi amiga y confidente.

A mi mentor Dr. Prometeo Sánchez García, gracias por su inigualable forma de ser, por ser inspiración y guía, por su amistad incondicional y por todas sus palabras de aliento.

A todos y cada una de las personas que conocí en mi estancia en el Colegio de Postgraduados, sin duda fueron parte fundamental en mi formación académica y personal, a todos (as) mis profesores (as) y amigos (as), ya no somos los mismos de antes.

## **CARÁCTER.**

Hay muchas cosas en la vida sobre las que no tenemos control. No podemos escoger a nuestros padres. No podemos seleccionar el lugar ni circunstancias de nuestro nacimiento y crecimiento. No podemos seleccionar nuestros talentos o nuestro coeficiente de inteligencia. Pero sí podemos escoger nuestro carácter. En realidad, el carácter lo estamos creando cada vez que hacemos una elección; evadir o confrontar una situación difícil, doblegarnos ante la verdad o mantenernos bajo el peso de ella, tomar el dinero fácil o pagar el precio. A medida que vivimos y hacemos decisiones, estamos formando nuestro carácter. —John C. Maxwell

## CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
LISTA DE CUADROS .....	vi
LISTA DE FIGURAS .....	vii
RESUMEN .....	viii
I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
II. OBJETIVOS E HIPOTESIS.....	2
Objetivo General .....	2
Objetivos Específicos.....	2
Hipótesis General.....	3
Hipótesis Específicas .....	3
III. RENDIMIENTO, EFICIENCIA DEL USO DE AGUA Y CALIDAD DEL FRUTO DE TOMATE EN DOS SISTEMAS HIDROPÓNICOS .....	4
IV. EFICIENCIA AGRONOMICA Y ECONOMICA DE LOS FERTILIZANTES EN DOS SISTEMAS HIDROPÓNICOS PARA LA PRODUCCIÓN DE TOMATE ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.).....	24
V. DISCUSIÓN GENERAL .....	40
VI. CONCLUSIONES GENERALES.....	44
VII. LITERATURA GENERAL CITADA.....	45
VIII. ANEXOS .....	49

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Número de frutos, peso de frutos, rendimiento y eficiencia del uso de agua en tomate tipo saladette y bola, desarrollados en un sistema hidropónico cerrado y abierto. ....	14
<b>Cuadro 2.</b> Diámetro longitudinal y ecuatorial, firmeza, color, sólidos solubles y acidez titulable de frutos tomate tipo saladette y bola, desarrollados en un sistema hidropónico cerrado y abierto. ....	17
Cuadro 3. Composición química de la solución nutritiva de Steiner para diferente potencial osmótico.....	29
Cuadro 4. Precio de los fertilizantes aplicados en los sistemas hidropónicos para la producción de tomate (2014).....	32
<b>Cuadro 5.</b> Cantidad y costo de fertilizantes aplicados en los sistemas hidropónicos para la producción de tomate (2014).....	33
<b>Cuadro 6.</b> Rendimiento, venta de producción, fertilizante total aplicado y costo total del fertilizante en dos sistemas hidropónicos para la producción de tomate. ....	35
Cuadro 7. Eficiencia agronómica y económica de los fertilizantes para la producción de tomate en un sistema hidropónico cerrado y abierto. ....	36

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistemas de producción hidropónica.....	49
Figura 2. Diseño experimental.....	49
Figura 3. Puntos que integran la Curva de Retención de Humedad (obtenida en laboratorio). AND-Agua no disponible; AFD-Agua fácilmente disponible; AR-Agua de reserva; ADD-Agua difícilmente disponible. ....	50
Figura 4. Curva de liberación de agua (obtenida en laboratorio). AND-Agua no disponible; AFD-Agua fácilmente disponible; AR-Agua de reserva; ADD-Agua difícilmente disponible. ....	50
Figura 5. Trasplante realizado el 6 mayo de 2014 en el Colegio de postgraduados. ....	51
Figura 6. Cosecha de ambos sistemas y variedades. Frutos en las plantas. ....	51

# **USO EFICIENTE DE AGUA Y FERTILIZANTES EN DOS SISTEMAS HIDROPONICOS PARA LA PRODUCCION DE JITOMATE (*Solanum lycopersicon* L)**

**Carolina Fabiola Gamiño Camacho  
Colegio de Postgraduados, 2015**

## **RESUMEN**

En la producción de hortalizas en invernadero el uso de sistemas de riego con recirculación de solución nutritiva es una alternativa para reducir los problemas de escasez de agua y de contaminación de mantos acuíferos. El experimento constó de dos sistemas hidropónicos, uno convencional abierto (SHA) sin recirculación de la solución nutritiva (SN) y otro con el reciclaje y desinfección (SHC) de la SN (cerrado) y dos tipos de tomate indeterminado tipo saladette (H1) y bola (H2), con un arreglo factorial 2 X 2 y 15 repeticiones. Se utilizó fibra de coco como sustrato (50% fibra y 50% polvo de coco). En la primer parte se determinaron las siguientes variables: número de frutos por planta (NFP), peso promedio de los frutos (PPF), rendimiento (R), eficiencia del uso de agua (EUA), diámetro longitudinal (DLF) y ecuatorial del fruto (DEF), firmeza (F), color (C), grados Brix (SS) y acidez titulable (AT) de los frutos. Se encontró diferencias estadísticas significativas ( $P < 0.05$ ) para las variables NFP, PPF, R, EUA, DLF, DEF, F, C, SS y AT para las diferentes fuentes de variación. El factor genético no influyó en la mayoría de los atributos de calidad, a excepción del color. La interacción S\*H fue significativa para las



variables NFP, DEF y SS. En la segunda parte con el objeto de evaluar la eficiencia agronómica (EA) y económica (EE) de los fertilizantes en sistemas hidropónicos se aplicó la solución universal de Steiner acorde con la etapa fenológica del cultivo: desde -0.018 MPa en la etapa vegetativa, hasta -0.090 MPa en fructificación plena. Se determinó el rendimiento hasta el quinto racimo, la cantidad de fertilizantes aplicados y su costo, además, se consideró la venta de producción para calcular la eficiencia agronómica y económica de los fertilizantes, en ambos sistemas. La EA en SHA fue igual a 10.12 y la EE de 6.87, en SHC la EA fue de 10.64 y la EE 7.19. Esto significa que el reciclaje de nutrientes en sistemas hidropónicos es una opción económicamente viable, en comparación con un sistema abierto.

**Palabras clave:** *sistema hidropónico cerrado, calidad del fruto, fibra de coco, reciclaje de nutrientes, desinfección de solución nutritiva.*

# **EFFICIENT USE OF WATER AND FERTILIZER IN TWO HYDROPONIC SYSTEMS FOR PRODUCTION OF TOMATO ( Solanum Lycopersicon L )**

**Carolina Fabiola Gamiño Camacho,  
Colegio de Postgraduados, 2015**

## **ABSTRACT**

In greenhouse vegetable production using recirculating nutrient solution systems is an alternative to reduce the problems of water scarcity and pollution of aquifers. The economy in the use of water in agricultural systems is a fundamental priority due to strong impact on the total amount of water used. The experiment consisted of two hydroponic systems, one conventional open (OHS) without recirculating of nutrient solution (NS) and another with recycling and disinfection (CHS) of NS (closed) and two genotypes of indeterminate tomato: saladette-type (H1) and ball-type (H2), with a 2 x 2 factorial arrangement and 15 replications. Coconut fiber was used as substrate (50% fiber and 50% coconut powder). In the first part were determined number of fruits per plant (NFP), average fruit weight (AFW), yield (Y), water use efficiency (WUE), longitudinal (LDF) and equatorial diameter of fruit (EDF), firmness (F), color (C), °Brix (SS) and titratable acidity (TA) of the fruit. Statistically significant differences ( $P < 0.05$ ) for the variables NFP, AFW, Y, WUE, LDF, EDF, F, C, SS and TA for the different sources of variation were found. Fruit quality was not influenced by genetic factor. The interaction hydroponic system \* genotype was significant for the parameters NFP, EDF and SS. In the second part with the purpose to evaluate the agronomic (AE) and economic efficiency (EE) of



fertilizers in hydroponic systems an experiment with tomatoes saladette and ball types, in an open system (OHS) without recovery of the nutrient solution (NS) and another with recycling of nutrients (CHS) were established. Was used coconut fiber as substrate and was applied the Steiner universal solution according to the phenological stages of the crop: starting from -0.018 MPa at the vegetative stage, to -0.090 MPa in fruiting. The amount and cost of applied fertilizers were determined, also production sale was considered to calculate the agronomic and economic efficiency of fertilizers, in both systems. The AE in OHS was 10.12 and EE 6.87, in CHS the AE was 10.64 and EE 7.19. It means that recycling of nutrients in hydroponic systems is an economically viable option compared with an open system.

**Key words:** *closed hydroponic system, fruit quality, coir fiber, nutrient recycling, nutrient solution disinfection.*

## I. INTRODUCCIÓN GENERAL

La hidroponía es un sistema de producción agrícola con gran importancia dentro de los contextos ecológico, económico y social. En la mayoría de los sistemas hidropónicos en nuestro país no se recupera la solución drenada, con lo que se calcula que cada año se desechan aproximadamente 9,000 millones de m<sup>3</sup> de agua y solución nutritiva, lo cual impacta negativamente en el ambiente. El uso eficiente de los nutrimentos en la agricultura es un aspecto de gran relevancia debido al incremento en los costos de los fertilizantes y la continua preocupación por el impacto ambiental, asociada con el uso inapropiado de nutrientes (Espinosa y Mite, 2002). Cisse y Amar (2000) señalan que el uso indiscriminado de los fertilizantes disminuye su eficiencia agronómica y económica, conduce a la degradación de suelos y genera problemas ambientales. El uso eficiente de los fertilizantes (UEF) puede ser definido como la máxima rentabilidad por unidad de fertilizantes aplicados (Mortvedt *et al.*, 2001). El crecimiento y la producción de tomate, requieren de altas cantidades de nutrimentos minerales, los cuales a menudo son suministrados solamente en forma parcial por el suelo, por lo que, grandes cantidades de nutrimentos deben ser aportados para mantener la fertilidad química de los suelos y permitir una producción de altos rendimientos sostenida en el tiempo, situación que se logra con la aplicación más eficiente de fertilizantes minerales (Lahav y Turner, 1992).

Ojo de Agua *et al.* (2008) evaluaron la EUA de tomate 'Gironda' en suelo e hidroponía con tezontle como sustrato y observaron que la EUA en suelo fue 36% mayor que en sustrato.

## II. OBJETIVOS E HIPOTESIS

### Objetivo General

El objetivo del presente estudio fue comparar la producción de tomate entre un sistema hidropónico cerrado y uno abierto, conocer su efecto en el rendimiento, eficiencia del uso de agua, eficiencia agronómica y económica de los fertilizantes, y algunos parámetros de calidad en tomates tipo saladette y bola.

### Objetivos Específicos

- Comparar el rendimiento obtenido del sistema hidropónico cerrado e hidropónico abierto, para cada tipo de tomate.
- Comparar la calidad del tomate en un sistema hidropónico abierto y un sistema hidropónico cerrado.
- Evaluar la eficiencia del uso de agua en un sistema hidropónico abierto y un sistema hidropónico cerrado.
- Evaluar la eficiencia agronómica de los fertilizantes en cada sistema de producción y para cada tipo de tomate.

- Evaluar la eficiencia económica de los fertilizantes en cada sistema de producción y para cada tipo de tomate.

### **Hipótesis General**

Existe diferencia significativa entre un sistema hidropónico cerrado y uno abierto, para rendimiento, eficiencia del uso de agua, eficiencia agronómica y económica de los fertilizantes, y algunos parámetros de calidad en tomates tipo saladette y bola.

### **Hipótesis Específicas**

- Existe diferencia significativa en rendimiento del tomate en un sistema hidropónico abierto y un sistema hidropónico cerrado.
- Existe diferencia significativa en calidad del tomate en un sistema hidropónico abierto y un sistema hidropónico cerrado.
- La producción de tomate en un sistema cerrado genera un uso más eficiente de agua en comparación con un sistema abierto.
- La producción de tomate en un sistema cerrado genera una mayor eficiencia agronómica de los fertilizantes en comparación con un sistema abierto.
- La producción de tomate en un sistema cerrado genera una mayor eficiencia económica de los fertilizantes en comparación con un sistema abierto.

### **III. RENDIMIENTO, EFICIENCIA DEL USO DE AGUA Y CALIDAD DEL FRUTO DE TOMATE EN DOS SISTEMAS HIDROPÓNICOS**

#### **YIELD, EFFICIENCY OF WATER USE AND TOMATO FRUIT QUALITY IN TWO HYDROPONIC SYSTEMS**

Carolina F. Gamiño Camacho<sup>1</sup>, Prometeo Sánchez García<sup>1&</sup>; Víctor H. Volke Haller<sup>1</sup>, Víctor Ordaz Chaparro<sup>1</sup> e Ignacio Miranda Velázquez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados, Km 35.5, carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Estado de México, C.P.56230 ([cgamino@colpos.mx](mailto:cgamino@colpos.mx); [promet@colpos.mx](mailto:promet@colpos.mx)) <sup>2</sup>Universidad Autónoma Chapingo, Km 38.5, carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México, C.P.56230.

#### **RESUMEN**

La economía en el uso del agua en sistemas agrícolas constituye una prioridad fundamental dada su fuerte repercusión en el monto total de agua utilizada. El experimento constó de dos sistemas hidropónicos, uno convencional abierto (SHA) sin recirculación de la solución nutritiva (SN) y otro con el reciclaje y desinfección (SHC) de la SN (cerrado) y dos tipos de tomate indeterminado tipo

saladette (H1) y bola (H2), con un arreglo factorial 2 X 2 y 15 repeticiones. Se utilizó fibra de coco como sustrato (50% fibra y 50% polvo de coco). Se determinaron las siguientes variables: número de frutos por planta (NFP), peso promedio de los frutos (PPF), rendimiento (R), eficiencia del uso de agua (EUA), diámetro longitudinal (DLF) y ecuatorial del fruto (DEF), firmeza (F), color (C), grados Brix (SS) y acidez titulable (AT) de los frutos. Se encontró diferencias estadísticas significativas ( $P < 0.05$ ) para las variables NFP, PPF, R, EUA, DLF, DEF, F, C, SS y AT para las diferentes fuentes de variación. El factor genético no influyó en la mayoría de los atributos de calidad, a excepción del color. La interacción S \* H fue significativa para las variables NFP, DEF y SS.

**Palabras clave:** sistema hidropónico cerrado, calidad del fruto, fibra de coco.

## **ABSTRACT**

The economy in the use of water in agricultural systems is a fundamental priority due to strong impact on the total amount of water used. The experiment consisted of two hydroponic systems, one conventional open (OHS) without recirculating of nutrient solution (NS) and another with recycling and disinfection (CHS) of NS (closed) and two genotypes of indeterminate tomato: saladette-type (H1) and ball-type (H2), with a 2 x 2 factorial arrangement and 15 replications. Coconut fiber was used as substrate (50% fiber and 50% coconut powder). Number of fruits per plant



(NFP), average fruit weight (AFW), yield (Y), water use efficiency (WUE), longitudinal (LDF) and equatorial diameter of fruit (EDF), firmness (F), color (C), °Brix (SS) and titratable acidity (TA) of the fruit were determined. Statistically significant differences ( $P < 0.05$ ) for the variables NFP, AFW, Y, WUE, LDF, EDF, F, C, SS and TA for the different sources of variation were found. Fruit quality was not influenced by genetic factor. The interaction hydroponic system \* genotype was significant for the parameters NFP, EDF and SS .

**Key words:** *closed hydroponic system, fruit quality, coir fiber*

## INTRODUCCIÓN

Las limitaciones de disponibilidad de agua están afectando a la población mundial por lo que la economía en la red de abastecimiento, distribución y sobretodo, en los hábitos de consumo está cada vez más presente en nuestra sociedad.

Esta situación hace que el gasto de agua en la agricultura, que supone entre el 50 y el 80% del agua disponible, se defina como un “exceso” desde ciertos ámbitos, ignorando que ese consumo se dedica a producir los alimentos que la sociedad urbana necesita consumir y que, por tanto, acaba siendo también una necesidad de la población en general.

De acuerdo con Medrano *et al.* (2007), la eficiencia del uso de agua (EUA) de las plantas se entiende, de manera genérica, como el volumen de agua que éstas necesitan evapotranspirar para incorporar a su biomasa una determinada cantidad de carbono proveniente de la atmósfera. Blum (2009) propone el término uso efectivo del agua (UEA) en lugar de EUA, ya que el primero está más relacionado con la fisiología de la planta.

En este sentido, la economía en el uso del agua en sistemas agrícolas constituye una prioridad fundamental dada su fuerte repercusión en el monto total de agua utilizada. Sin embargo, la producción agrícola, por exigencias de la economía de mercado, necesita asegurar rendimientos mínimos para ser una actividad viable, y el riego se hace cada vez más imprescindible para obtener una producción más regular y predecible.

En las últimas décadas, la producción agrícola mundial ha aumentado en paralelo a los aumentos de población sin apenas aumentar la superficie cultivada (probablemente muy cercana al máximo disponible). El incremento de producción global de alimentos viene totalmente ligado al incremento de la superficie regada, y esta tendencia universal se mantiene o se acentúa en los últimos años.

Afortunadamente, cada vez hay más conocimientos y tecnologías disponibles que ayudan a incrementar la eficiencia en el uso del agua (EUA) en la agricultura y así, en nuestro país, el incremento registrado en la superficie de regadío declarada en los últimos años se ha hecho compatible con una reducción global de la cantidad de agua utilizada por la agricultura. La explicación está en que en la mayor parte de las nuevas áreas de riego se ha establecido el riego localizado, por goteo o

aspersión, sistemas mucho más eficientes, y en cultivos, que en buena parte tienen un consumo unitario mucho más bajo que los cultivos hortícolas. Mejorar la producción vegetal es compatible con la economía del agua, pero esto requiere más conocimientos y tecnología que debemos desarrollar para hacer más sostenible la producción de alimentos y el abastecimiento de las poblaciones, tal es el caso de los sistemas hidropónicos cerrados.

En México, casi el 100% de los sistemas hidropónicos son abiertos con lo que se calcula que cada año se desechan aproximadamente 9,000 millones de  $\text{m}^3$  de agua y solución nutritiva, lo cual impacta negativamente en el ambiente. En estos sistemas la EUA es de  $30 \text{ kg m}^{-3}$ , mientras que en los sistemas cerrados se alcanza una EUA de  $80 \text{ kg m}^{-3}$  (Holanda), sin considerar el ahorro en el consumo de fertilizantes. González y Hernández (2000) reportan una EUA de 5.5 – 8.3 para tomate de hábito determinado en un suelo tipo Litosol. Esto coincide con Ojo de agua *et al.* (2008), quienes evaluaron la EUA de tomate ‘Gironda’ en suelo e hidroponía con tezontle como sustrato y consignaron que la EUA en suelo fue 36% mayor que en sustrato.

Para poder analizar el rendimiento de una planta es necesario el estudio de sus componentes del rendimiento. Para el caso del tomate, estos son el número de frutos por planta y el peso de fruto. Así, dichos componentes del rendimiento que involucra procesos fisiológicos relacionados con el crecimiento vegetativo y reproductivo, está fuertemente influenciado por la relación fuente-demanda en diferentes fases del ciclo de vida de la planta. El peso del fruto, a su vez está determinado por la relación entre la potencia de la fuente y la potencia de la

demanda durante el periodo de crecimiento del fruto. Esta relación determinará la máxima cantidad de asimilados que producirá la fuente y que aceptará la demanda, y que se puede traducir en una tasa de absorción o incorporación de asimilados por unidad de peso del tejido-demanda, más las pérdidas por respiración (Wereing y Patrick, 1975).

La cantidad de agua puede afectar también, la calidad del fruto de tomate. En este sentido López *et al* (2008) en un estudio en hidroponía con secado parcial de la raíz encontraron que el estrés hídrico afectó positivamente la firmeza y los grados Brix en frutos de tomate, además de la EUA y sugieren que el tratamiento con SPR estimuló el sistema de señales químicas entre la raíz y el vástago, provocando de esta forma un incremento en la calidad de fruto, sin afectar el rendimiento, así como el mantenimiento de las relaciones hídricas y el intercambio de gases.

El objetivo del presente estudio fue comparar un sistema de producción hidropónica de tomate cerrado con uno abierto y conocer su efecto en el rendimiento, eficiencia del uso de agua y algunos parámetros de calidad en tomates tipo saladette y bola.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El experimento se desarrolló en un invernadero tipo baticenital ubicado en las instalaciones del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos, en el municipio de Texcoco, Estado de México (19° 29' N, 98° 54' O y 2250 msnm de altitud).

El ensayo constó de dos sistemas hidropónicos, uno convencional abierto sin recirculación de la solución nutritiva (SN) y otro con el reciclaje y desinfección de la SN (cerrado) y dos genotipos de tomate indeterminado con un arreglo factorial  $2 \times 2$  ( $Y_{ijk} = \mu + \alpha_j + \beta_k + (\alpha\beta)_{jk} + \varepsilon_{ijk}$ ) y 15 repeticiones, como se muestra en las figuras 1 y 2 (de anexos). El material vegetal fueron híbridos de tomate tipo saladette (El Cid) y tipo bola (Caimán), de hábito indeterminado, en ambos casos.

La unidad experimental fue un saco de cultivo con cuatro plantas de tomate. Se utilizó fibra de coco como sustrato, marca Germinaza<sup>®</sup>, con 50% de fibra y 50% de polvo de coco. Las características físicas del sustrato fueron las siguientes: índice de grosor 42.5%, densidad aparente  $0.075 \text{ g cm}^{-3}$ , densidad real  $1.48 \text{ g cm}^{-3}$ , capacidad de aireación 52.6%, capacidad de retención de agua 49.5%, espacio poroso total 81.0%, agua fácilmente disponible 22.6%, agua de reserva 13.1%, agua fácilmente disponible 22.6% y agua difícilmente disponible 24.6%, pH 5.2, CE =  $2.6 \text{ dS m}^{-1}$  y CIC  $42.4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , como se muestra en la figura 3 y 4 de anexos. Para eliminar las sales contenidas en la fibra de coco se hicieron 5 lavados con agua acidificada (pH 5) hasta alcanzar un potencial osmótico (PO) en el drenaje de  $-0.0144 \text{ MPa}$ .

Las plántulas de tomate se trasplantaron a una distancia de 20 cm entre ellas, dentro de cada saco de cultivo, con lo cual se tuvieron 4 plantas por unidad experimental (ver figura 5 de anexos). Se aplicó la SN acorde con la fase fenológica del cultivo: desde  $-0.036 \text{ MPa}$  en la etapa vegetativa, hasta  $-1.08 \text{ MPa}$  en fructificación plena, para lo cual se utilizó como base la solución universal de Steiner (1984).

Se hicieron análisis químicos del agua de riego para considerar el aporte de ésta al momento de elaborar la SN. Diariamente se cuantificó la cantidad de agua aplicada al cultivo de tomate durante las diferentes etapas fenológicas y en todo el ciclo para cada sistema hidropónico. Los riegos se hicieron conforme a la demanda de agua diaria de la planta en función del clima y etapa fenológica del cultivo, evitando un drenaje mayor al 10%. Para el caso del sistema cerrado se consideró el aporte de los nutrientes en la solución drenada y para su reciclaje se ajustó el pH a 5.5-6.5 y la conductividad eléctrica (CE) requerida, acorde con la etapa fenológica del cultivo, con un pH-metro y CE-metro marca Hanna instruments®. La desinfección de la solución nutritiva en el sistema cerrado se hizo con un ozonificador marca Ozone®.

El rendimiento se midió semanalmente hasta el cuarto racimo en términos de kilogramos y número de frutos por planta. También se evaluó la calidad de 5 frutos por repetición en madurez fisiológica.

Se determinó el peso total de frutos con una balanza digital marca Ohaus®, el diámetro longitudinal y ecuatorial con un vernier digital marca Truper®, los grados Brix con un refractómetro digital Atago® modelo PR-100 con una a dos gotas de jugo y el resultado se expresó como % de sólidos solubles. Se le conoce como grados Brix, a las sustancias solubles en agua que reflejan un alto por ciento de la calidad de sólidos totales que contienen los frutos en por ciento (Santiago *et al.*, 1998). El color del fruto se midió en dos lados con un colorímetro marca Agrocolor®, la dureza del fruto se determinó con un texturómetro digital marca Wagner modelo FDV-30 y se midió por deformación con un puntal plano de 1 cm

de diámetro, el pH con un pH-metro marca Horiba® tipo twin y la acidez titulable se determinó con la metodología propuesta por la A.O.A.C. (2000) y el resultado se expresó en % de ácido cítrico.

Los datos fueron analizados con el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9 (SAS Institute Inc., 1999).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Rendimiento y EUA**

Los resultados del Cuadro 1 muestran diferencias estadísticas significativas ( $P < 0.05$ ) para las variables número de frutos por planta (NFP), peso promedio del fruto (PPF), rendimiento (R) y EUA para las diferentes fuentes de variación. El sistema hidropónico cerrado (SHC) presentó estadísticamente el menor PPF y R, sin embargo, el reciclaje de la SN permitió incrementar la EUA en un 12% en comparación con el sistema hidropónico abierto (SHA). El tomate tipo saladette (H1) tuvo mayor cantidad de frutos pero éstos fueron de menor tamaño lo que impactó en el rendimiento total, en comparación con el tomate tipo bola (H2) y esto a su vez, aumentó la EUA. Se encontró significancia para la interacción  $S * H$  (Sistema \* Híbrido) solo para la variable NFP.

Davies *et al.* (2000) evaluaron el comportamiento de tomate en un sistema hidropónico con secado parcial de raíz (SPR) y encontraron que bajo esas condiciones la EUA se incrementó 50% en comparación con el control, sin embargo, en el tratamiento con SPR la conductancia estomática, altura de planta, biomasa total, área foliar, número de flores, diámetro ecuatorial y peso de frutos se vieron afectados, lo que coincide con los resultados de los Cuadros 1 y 2, en donde SHA presentó los mayores parámetros agronómicos en comparación con SHC, pero la EUA fue menor. En un experimento similar Shaozhong y Jianhua (2004) observaron que SPR disminuye la fotosíntesis y la conductancia estomática y esto a su vez, se vio reflejado en la biomasa total de plantas de trigo. Estos resultados también están relacionados con la cantidad de nutrientes que recibieron las plantas en SHC, ya que la SN recirculada se ajustó cada semana y SHA recibió diariamente la SN completa. Yurtzeven *et al.* (2005) observaron que al incrementar el nivel de salinidad en la SN el tamaño y pH en frutos de tomate nativo se redujeron, sin embargo, el contenido de sólidos solubles se incrementó significativamente. En estudios con sequía se ha demostrado que en condiciones de estrés hídrico se ve afectada la conductancia estomática y a su vez, la fotosíntesis, por el efecto directo del regulador de crecimiento ácido abscísico (Gowing *et al.*, 1990; Davies y Zhang, 1991). De acuerdo con Richards *et al.* (2002) la EUA está predeterminada por la carga genética de las variedades. En este sentido, Santiago *et al.* (1998) encontraron que el híbrido de tomate 'Celebrity' tipo bola tuvo una mayor EUA en comparación con otros 11 genotipos, lo cual correlacionó con el incremento de fotosíntesis. En el Cuadro 1 se observa que H2 fue estadísticamente mayor que H1, esto indica que el tomate tipo bola consume



más carbono del aire con la misma cantidad de agua que un tomate tipo saladette (Medrano *et al.*, 2007).

**Cuadro 1.** Número de frutos, peso de frutos, rendimiento y eficiencia del uso de agua en tomate tipo saladette y bola, desarrollados en un sistema hidropónico cerrado y abierto.

Fuente de variación	NFP	PPF (g)	R (kg planta <sup>-1</sup> )	EUA (kg m <sup>-3</sup> )
SHA	23.20 a	115.51 a	2.68 a	6.09 a
SHC	20.99 a	107.67 b	2.26 b	6.91 b
H1	28.17 a	84.48 b	2.38 b	6.20 a
H2	16.00 b	159.37 a	2.55 a	6.65 b
S * H	*	-	-	-
CV (%) <sup>‡</sup>	12.5	26.38	27.25	10.43
DMS	6.85	6.59	0.34	0.29
r <sup>2</sup>	0.53	0.80	0.10	0.65

-Valores con la misma letra dentro de cada columna para cada fuente de variación son estadísticamente iguales (Tukey  $\leq 0.05$ ); \* significativo al 0.05 de probabilidad; <sup>‡</sup>CV= coeficiente de variación; DMS= diferencia mínima significativa; EUA=eficiencia del uso de agua; SHA= sistema hidropónico abierto; SHC= sistema hidropónico cerrado; H1= híbrido de tomate tipo saladette; H2= híbrido de tomate tipo bola; NFP= Número de frutos por planta; PPF= peso promedio del fruto; R= rendimiento; S= sistema hidropónico; H= genotipo de tomate.

## Calidad del fruto

El análisis de datos del Cuadro 2 indica diferencias estadísticas significativas ( $P < 0.05$ ) para las variables diámetro longitudinal (DLF) y ecuatorial del fruto (DEF), firmeza (F), color (C), grados Brix (SS) y acidez titulable (AT) para la fuente de variación sistema hidropónico. El factor genético no influyó en la mayoría de los atributos de calidad, a excepción del color. Se encontró significancia para la interacción S \* H solo para las variables DEF y SS.

DLF fue mayor en SHC y DEF menor en comparación con SHA, lo cual se relaciona con PPF (Cuadro 1) y esto se explica por el menor suministro nutrimental en SHC, particularmente potasio, el cual está involucrado en el transporte de fotosintatos de las hojas a los frutos (Britto and Kronzucker, 2008) y el déficit de éste genera menor DEF y este síntoma ocasiona lo que comúnmente se denomina frutos cuadrados.

Zegbe-Domínguez *et al.* (2003) estudiaron algunos parámetros de calidad en tomate en un sistema con SPR y encontraron que el número y contenido de agua en frutos fueron significativamente menores que el testigo (T), pero los grados Brix fueron mayores en SPR que en T, además, la maduración del fruto en SPR se adelantó una semana en comparación con T.

Las variables SS y F fueron significativamente mayores en SHC seguramente por la menor cantidad de agua recibida en este sistema, lo cual coincide con Stikic *et al.* (2003) quienes evaluaron el efecto del SPR sobre la calidad de fruto en tomate.

Estos observaron que en los tratamientos con SPR se redujo la biomasa total de las plantas, además de SS y la EUA se incrementó. También detectaron que el contenido de licopeno disminuyó en los tratamientos con SPR, lo cual coincide con los resultados del Cuadro 2, en donde se observa que el color rojo de frutos de tomate en SHC fue menor en contraposición con SHA y esto indica que el contenido de licopeno es menor. El color rojo de los frutos de tomate resulta de la síntesis de carotenos, principalmente del licopeno (Giuliano *et al.*, 1993; Fraser *et al.*, 1994; White, 2002). Existe una correlación directa entre SS y F, a mayor concentración de éstos F es mayor (Santiago *et al.*, 1998).

En un experimento con tomate en hidroponía y tezontle como sustrato, San Martín *et al.* (2012) encontraron que los tamaños de partícula de tezontle afectaron los atributos físicos de color, luminosidad y hue, evaluados en el espacio de color L\*a\*b\* (CIELab), con excepción del croma. El tezontle de 5 a 10 mm de diámetro, aquel que retuvo más humedad, en comparación con partículas de 10, 20 y 30 mm, fue el mejor tratamiento para luminosidad (L), lo que coincide con los resultados del Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Diámetro longitudinal y ecuatorial, firmeza, color, sólidos solubles y acidez titulable de frutos tomate tipo saladette y bola, desarrollados en un sistema hidropónico cerrado y abierto.

Fuente de variación	DLF (mm)	DEF (mm)	F (g cm <sup>-2</sup> )	Color			° Brix	AT (%)
				L	a	b		
SHA	69.49 b	87.55 a	1.55 b	31.30 a	21.51 a	13.87 a	4.13 b	0.52 a
SHC	74.45 a	58.99 b	2.66 a	28.89 b	21.51 a	14.36 a	5.19 a	0.46 b
H1	70.98 a	72.81 a	2.05 a	30.78 a	21.28 a	14.83 a	4.82 a	0.50 a
H2	72.96 a	73.74 a	2.16 a	29.42 b	21.73 a	13.40 b	4.51 a	0.47 a
S * H	-	*	-	-	-	-	*	-
CV (%)	5.74	5.58	27.43	5.96	10.21	9.16	11.20	17.87
DMS	2.65	2.62	0.37	1.15	1.40	0.83	0.33	0.05
R <sup>2</sup>	0.36	0.93	0.51	0.40	0.04	0.28	0.59	0.14

-Valores con la misma letra dentro de cada columna para cada fuente de variación son estadísticamente iguales (Tukey  $\leq 0.05$ ); \* significativo al 0.05 de probabilidad; †CV= coeficiente de variación; DMS= diferencia mínima significativa; EUA=eficiencia del uso de agua; SHA= sistema hidropónico abierto; SHC= sistema hidropónico cerrado; H1= híbrido de tomate tipo saladette; H2= híbrido de tomate tipo bola; DLF= diámetro longitudinal del fruto; DEF= diámetro ecuatorial del fruto; F= firmeza; L= luminosidad (L= 0 es negro y L=100 indica blanco); a= posición entre rojo y verde (valores negativos indican verde y los positivos señalan rojo); b= posición entre amarillo y azul (valores negativos de b indican azul y los

positivos señalan amarillo); AT= acidez titulable; S= sistema hidropónico; H= genotipo de tomate.

No se encontraron diferencias estadísticas significativas para SS en los genotipos evaluados, lo que coincide con Santiago *et al.* (1998), quienes evaluaron 11 materiales de tomate tipo bola y saladette con los mismos resultados.

Patanea *et al.* (2003), detectaron que el déficit hídrico mejoró el contenido total de SS, AT y el contenido de vitamina C. La EUA se vio afectada positivamente en el tratamiento con 50% de humedad, lo que sugiere que el cultivo no se beneficia del agua cuando esta última se suministra al cumplir con los requerimientos totales de cultivo para toda la temporada.

## **CONCLUSIONES**

La recirculación de la solución nutritiva permite un ahorro de agua y fertilizantes, sin embargo, el rendimiento (NFP y PPF) y algunos atributos de calidad (DEF, C y AT) son afectados. El SHC incrementó 12% la EUA en comparación con el SHA, además de F y SS. El factor genético no influyó en la mayoría de los atributos de calidad, a excepción del color. La interacción S \* H fue significativa para las variables NFP, DEF y SS.

## LITERATURA CITADA

Association of Official Analytical Chemists International. Official Methods of Analysis. 2000. 17th ed. AOAC, Gaithersburg, MD.

Blum A. 2009. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crops Research*. 112 (2–3): 119–123.

Britto D. T. and Kronzucker H. J. 2008. Cellular mechanisms of potassium transport in plants *Physiol. Plant*. p. 1-14

Davies, W. J.; Wilkinson S. and Loveys B. 2002. Stomatal control by chemical signaling and the exploitation of this mechanism to increase water use efficiency in agriculture. *New phytologist*, 153: 449–460.

Davies, W.J. and Zhang J.H. 1991. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 42: 55–76.

Fraser, P. D.; Truesdale M. R.; Bird C. R.; Schuch W. and Bramley P. M. 1994. Carotenoid biosynthesis during tomato fruit development (Evidence for tissue-specific gene expression). *Plant Physiol.* 105(1): 405-413.

Giuliano, G.; Bartley G. E. and Scolnik P. A. 1993. Regulation of carotenoid biosynthesis during tomato development. *Plant Cell* 5: 379-387.

González, M. A. y Hernández L. B. A. 2000. Estimación de las necesidades hídricas del tomate. *TERRA.* 18 (1): 45-50.

Gowing, D.J.; Davies W.J. and Jones H.G. 1990. A positive root-sourced signal as an indicator of soil drying in apple, (*Malus domestica* Borkh). *Journal of Experimental Botany.* 41: 1535–1540.

López, O. A.; Trejo L. C.; Peña V. C. B.; Ramírez A. C.; Tijerina Ch. L. y Carrillo S. J. A. 2008. Secado parcial de la raíz de jitomate: efectos en la fisiología de la planta y calidad de fruto. *Agricultura Técnica en México.* 34 (3): 297-302.

Medrano, H.; Bota J.; Cifre J.; Flexas J.; Ribas-Carbó M. y Gulías J. 2007. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones Geográficas.* 43: 63-84.

Ojodeagua, A. J. L.; Castellanos R. J.; Muñoz R. J. J.; Alcántar G. G.; Tijerina Ch. L.; Vargas T. P. y Enríquez R. S. 2008. Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 31 (4): 367-374.

Patanea, C.; Tringalia S. and Sortinob O. 2011. Effects of deficit irrigation on biomass, yield, water productivity and fruit quality of processing tomato under semi-arid Mediterranean climate conditions. *Scientia Horticulturae*. 129 (4): 590–596.

Richards, R. A.; Rebetzke G. J.; Condon A. G. and van Herwaarden A. F.. 2002. Breeding Opportunities for Increasing the Efficiency of Water Use and Crop Yield in Temperate Cereals. *Crop Sci.*42:111–121.

San Martín, H. C.; Ordaz Ch. V. M.; Sánchez G. P.; Beryl C. L. M. T. y Borges G. L. 2012. Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponia con diferentes granulometrías de tezontle. *AGROCIENCIA*. 43 (6): 243-254.



Santiago, J.; Mendoza M. y Borrego F. 1998. Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana*. 9 (1): 59-65.

Shaozhong, K. and Jianhua Z. 2004. Controlled alternate partial root-zone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency. 55 (407): 2437-2446.

SAS Institute Inc. 1999. SAS/AF Software: FRAME Entry Usage and Reference, Version 8, Cary, NC: SAS Institute Inc.

Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. *In: Proceedings of 6th International Congress on Soilles Culture*. pp. 633-650.

Stikic, R.; Popovic S.; Srdic M.; Savic D.; Jovanovic Z.; Prokic Lj. and Zdravkovic J. 2003. Partial root drying (PRD): a new technique for growing plants that saves water and improves the quality of fruit. *Bulg. J. Plant Physiol*, special issue, 164–171.

Yurtseven, E., Kesmez G. D. and Ünlükara A. 2005. The effects of water salinity and potassium levels on yield, fruit quality and water consumption of a native

central Anatolian tomato species (*Lycopersicon esculantum*). *Agricultural Water Management*. 78 (1–2): 128–135.

White, P. J. 2002. Recent advances in fruit development and ripening: an overview. *J. Exp. Bot.* 53(377): 1995-2000.

Wereing, P. E and Patrick J. 1975. Source-sink relations and partition of assimilates. *In* J. P. Cooper Celd, photosynthesis and productivity in different environments. Cambridge Univ. Press. p. 481-499.

Zegbe-Domínguez, J.A; Behboudian M.H.; Lang A. and Clothier B.E. 2003. Deficit irrigation and partial rootzone drying maintain fruit dry mass and enhance fruit quality in 'Petopride' processing tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Scientia Horticulturae*. 98 (4): 505–510.

# **IV. EFICIENCIA AGRONOMICA Y ECONOMICA DE LOS FERTILIZANTES EN DOS SISTEMAS HIDROPÓNICOS PARA LA PRODUCCIÓN DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)**

## **AGRONOMIC AND ECONOMIC EFFICIENCY OF FERTILIZERS IN TWO HYDROPONIC SYSTEMS FOR TOMATO (*Solanum lycopersicum* L.) PRODUCTION**

Carolina F. Gamiño Camacho<sup>1</sup>, Prometeo Sánchez García<sup>1</sup>; Víctor H. Volke Haller<sup>1</sup>, Víctor Ordaz Chaparro<sup>1</sup> e Ignacio Miranda Velázquez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados, Km 35.5, carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Estado de México, C.P.56230 ([cgamino@colpos.mx](mailto:cgamino@colpos.mx); [promet@colpos.mx](mailto:promet@colpos.mx); [vvolke@colpos.mx](mailto:vvolke@colpos.mx); [ordaz@colpos.mx](mailto:ordaz@colpos.mx)). <sup>2</sup>Universidad Autónoma Chapingo, Km 38.5, carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México, C.P.56230 ([ignaci31@hotmail.com](mailto:ignaci31@hotmail.com)).

### **RESUMEN**

Con el objeto de evaluar la eficiencia agronómica (EA) y económica (EE) de los fertilizantes en sistemas hidropónicos se estableció un experimento con tomates tipo saladette y bola, en un sistema abierto (SHA) sin recuperación de la solución nutritiva (SN) y otro con el reciclaje de nutrientes (SHC). Se utilizó fibra de coco

como sustrato y se aplicó la solución universal de Steiner acorde con la etapa fenológica del cultivo: desde -0.018 MPa en la etapa vegetativa, hasta -0.090 MPa en fructificación plena. Se determinó el rendimiento hasta el quinto racimo, la cantidad de fertilizantes aplicados y su costo, además, se consideró la venta de producción para calcular la eficiencia agronómica y económica de los fertilizantes, en ambos sistemas. La EA en SHA fue igual a 10.12 y la EE de 6.87, en SHC la EA fue de 10.64 y la EE 7.19. Esto significa que el reciclaje de nutrientes en sistemas hidropónicos es una opción económicamente viable, en comparación con un sistema abierto.

**Palabras clave:** *reciclaje de nutrientes, desinfección de solución nutritiva, fibra de coco*

## **ABSTRACT**

With the purpose to evaluate the agronomic (AE) and economic efficiency (EE) of fertilizers in hydroponic systems an experiment with tomatoes saladette and ball types, in an open system (OHS) without recovery of the nutrient solution (NS) and another with recycling of nutrients (CHS) were established. Was used coconut fiber as substrate and was applied the Steiner universal solution according to the phenological stages of the crop: starting from -0.018 MPa at the vegetative stage, to -0.090 MPa in fruiting. The amount and cost of applied fertilizers were

determined, also production sale was considered to calculate the agronomic and economic efficiency of fertilizers, in both systems. The AE in OHS was 10.12 and EE 6.87, in CHS the AE was 10.64 and EE 7.19. It means that recycling of nutrients in hydroponic systems is an economically viable option compared with an open system.

**Key words:** *nutrient recycling, nutrient solution disinfection, coir fiber*

## INTRODUCCIÓN

El uso eficiente de los nutrimentos en la agricultura es un aspecto de gran relevancia debido al incremento en los costos de los fertilizantes y la continua preocupación por el impacto ambiental, asociada con el uso inapropiado de nutrientes (Espinosa y Mite, 2002). Cisse y Amar (2000) señalan que el uso indiscriminado de los fertilizantes disminuye su eficiencia agronómica y económica, conduce a la degradación de suelos y genera problemas ambientales.

El uso eficiente de los fertilizantes puede ser definido como la máxima rentabilidad por unidad de fertilizantes aplicados (Mortvedt *et al.*, 2001). El crecimiento y la producción de tomate, requieren de altas cantidades de nutrimentos minerales, los cuales a menudo son suministrados solamente en forma parcial por el suelo, por lo

que, grandes cantidades de nutrimentos deben ser aportados para mantener la fertilidad química de los suelos y permitir una producción de altos rendimientos sostenida en el tiempo, situación que se logra con la aplicación más eficiente de fertilizantes minerales (Lahav y Turner, 1992).

Ojo de agua *et al.* (2008) evaluaron la EUA de tomate 'Gironda' en suelo e hidroponía con tezontle como sustrato y observaron que la EUA en suelo fue 36% mayor que en sustrato.

La hidroponía es un sistema de producción agrícola con gran importancia dentro de los contextos ecológico, económico y social. Sin embargo, la mayoría de los sistemas hidropónicos en nuestro país son abiertos, es decir, no se recupera la solución drenada, con lo que se calcula que cada año se desechan aproximadamente 9,000 millones de m<sup>3</sup> de agua y solución nutritiva, lo cual impacta negativamente en el ambiente.

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio consistió en evaluar la eficiencia agronómica y económica de los fertilizantes en dos sistemas hidropónicos de producción de tomate, uno abierto sin recuperación de la solución nutritiva y otro cerrado, con la recirculación de nutrientes.

## MATERIALES Y METODOS

El experimento se desarrolló en un invernadero tipo baticenital ubicado en las instalaciones del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos, en el municipio de Texcoco, Estado de México (19° 29' N, 98° 54' O y 2250 msnm de altitud).

El ensayo constó de dos sistemas hidropónicos, uno convencional abierto sin recirculación de la solución nutritiva (SN) y otro con el reciclaje y desinfección de la SN (cerrado) y dos genotipos de tomate indeterminado con un arreglo factorial  $2 \times 2$  ( $Y_{ijk} = \mu + \alpha_j + \beta_k + (\alpha\beta)_{jk} + \varepsilon_{ijk}$ ) y 15 repeticiones. El material vegetal fueron híbridos de tomate tipo saladette (El Cid) y tipo bola (Caimán), de hábito indeterminado, en ambos casos.

La unidad experimental fue un saco de cultivo con cuatro plantas de tomate. Se utilizó fibra de coco como sustrato, marca Germinaza®, con 50% de fibra y 50% de polvo de coco. Las características físicas del sustrato fueron las siguientes: índice de grosor 42.5%, densidad aparente  $0.075 \text{ g cm}^{-3}$ , densidad real  $1.48 \text{ g cm}^{-3}$ , capacidad de aireación 52.6%, capacidad de retención de agua 49.5%, espacio poroso total 81.0%, agua fácilmente disponible 22.6%, agua de reserva 13.1%, agua fácilmente disponible 22.6% y agua difícilmente disponible 24.6%, pH 5.2, CE =  $2.6 \text{ dS m}^{-1}$  y CIC  $42.4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , como se muestra en la figura 3 y 4 de anexos. Para eliminar las sales contenidas en la fibra de coco se hicieron 5

lavados con agua acidificada (pH 5) hasta alcanzar un potencial osmótico (PO) en el drenaje de -0.0144 MPa.

Las plántulas de tomate se trasplantaron a una distancia de 20 cm entre ellas, dentro de cada saco de cultivo, con lo cual se tuvieron 4 plantas por unidad experimental. Se aplicó la SN acorde con la fase fenológica del cultivo: desde -0.018 MPa en la etapa vegetativa, hasta -0.090 MPa en fructificación plena (Cuadro 3), para lo cual se utilizó como base la solución universal de Steiner (1984).

**Cuadro 3.** Composición química de la solución nutritiva de Steiner para diferente potencial osmótico.

Etapa fenológica	Potencial osmótico	N-NO <sub>3</sub>	P	K	Ca	Mg	S-SO <sub>4</sub>
	MPa	mg L <sup>-1</sup>					
T – V	-0.018	42.04	7.75	68.25	45.00	12.00	27.97
V – F	-0.036	84.08	15.50	136.50	90.00	24.00	55.94
F – 1R	-0.054	126.12	23.25	204.75	135.00	36.00	83.91
1R – 3R	-0.072	168.16	31.00	273.00	180.00	48.00	111.88
3R – 5R	-0.090	210.20	38.75	341.25	225.00	60.00	139.85

T= transplante; V= vegetativa; F= floración; 1R= primer racimo; 3R= tercer racimo; 5R= quinto racimo



Los micronutrientes se adicionaron en forma de quelato siempre con la siguiente concentración ( $\text{mg L}^{-1}$ ): Fe-3, B-0.5, Mn-0.5, Zn-0.25, Cu-0.025 y Mo-0.002.

Se hicieron análisis químicos del agua de riego para considerar el aporte de ésta al momento de elaborar la SN. Diariamente se cuantificó la cantidad de agua aplicada al cultivo de tomate durante las diferentes etapas fenológicas y en todo el ciclo para cada sistema hidropónico. Los riegos se hicieron conforme a la demanda de agua diaria de la planta en función del clima y etapa fenológica del cultivo, evitando un drenaje mayor al 10%. Para el caso del sistema cerrado se consideró el aporte de los nutrientes en la solución drenada y para su reciclaje se ajustó el pH a 5.5-6.5 y la conductividad eléctrica (CE) requerida, acorde con la etapa fenológica del cultivo, con un pH-metro y CE-metro marca Hanna instruments®. La desinfección de la solución nutritiva en el sistema cerrado se hizo con un ozonificador marca Ozone®.

El rendimiento se midió semanalmente hasta el cuarto racimo en términos de kilogramos y número de frutos por planta. También se cuantificó la cantidad de unidades de nutrientes adicionados en la SN con cada riego.

De acuerdo con Scholbewrg *et al.* (2009), Snyder (2009), Buresh y Witt (2007), Clif (2009) y Espinosa y García (2009) la eficiencia agronómica (EA) y económica (EE) para cultivos en suelo se determinan de la siguiente manera: EA =

(producción con aplicación de fertilizante - producción sin aplicación de fertilizante)  
/ (cantidad de fertilizante aplicado); EE = (retorno monetario cuando se aplica  
fertilizante - retorno monetario cuando no se aplica fertilizante) / (costo de la  
fertilización).

Para cultivos hidropónicos, no se puede tener un tratamiento sin fertilizar y es  
común estimar el rendimiento en metros cuadrados, por lo tanto, estas fórmulas  
fueron modificadas de la siguiente manera: EA = (rendimiento, kg m<sup>-2</sup>) /  
(nutrimento aplicado, kg m<sup>-2</sup>); EE = (venta de producción, \$ m<sup>-2</sup>) / (costo del  
fertilizante \$ m<sup>-2</sup>).

CYMMIT (1988) propone la eficiencia económico-ambiental (EEA) para el balance  
de carbono utilizando los puntos con mejor resultado económico con respecto a  
los resultados ambientales, lo cual no se considera en el presente estudio, al  
hacer un uso más eficiente del agua en el sistema con recirculación de la SN.

En el Cuadro 4 se incluyen los fertilizantes empleados en el estudio, los precios y  
presentación comercial y el precio de venta al menudeo fue de \$10.00 durante  
toda la cosecha.

**Cuadro 4.** Precio de los fertilizantes aplicados en los sistemas hidropónicos para la producción de tomate (2014).

Fertilizante			Precio	
Nombre común	Fórmula química	Presentación	\$ bulto <sup>-1</sup> (\$	\$ kg <sup>-1</sup> (\$ L <sup>-1</sup> )
			frasco <sup>-1</sup> )	
Nitrato de calcio	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O	25 kg	240	9.6
Nitrato de potasio	KNO <sub>3</sub>	25 kg	491	19.64
Sulfato de potasio	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	25 kg	392	15.68
Sulfato de magnesio	MgSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	50 kg	222	4.44
Fosfato monopotásico	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	25 kg	760	30.4
Acido sulfúrico	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	20 L	255	12.75
Micronutrientes	Complejo de micros	1kg	161	161

-Los datos fueron analizados con el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9 (SAS Institute Inc., 1999).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los Cuadros 5 y 6 se observa que en un sistema hidropónico cerrado (SHC) con el reciclaje de la SN se ahorra 20.2% de la cantidad de fertilizantes aplicados y los costos de los fertilizantes disminuyen 19.9%, en comparación con un sistema hidropónico abierto convencional (SHA).

El nitrato de calcio es el fertilizante que más se usa en los sistemas hidropónicos y el costo de aplicación es el más alto (Cuadro 5). El gasto de ácido sulfúrico para la acidificación del agua de riego y a su vez, neutralización de los bicarbonatos contenidos en esta, es mínima en contraposición con el costo de los fertilizantes sólidos.

**Cuadro 5.** Cantidad y costo de fertilizantes aplicados en los sistemas hidropónicos para la producción de tomate (2014).

Fertilizante	Sistema hidropónico abierto		Sistema hidropónico cerrado	
	FA	CF	FA	CF
	kg m <sup>-2</sup>	\$ m <sup>-2</sup>	kg m <sup>-2</sup>	\$ m <sup>-2</sup>
Nitrato de calcio	0.500	4.80	0.400	3.84
Nitrato de potasio	0.121	2.38	0.101	1.98
Sulfato de potasio	0.192	3.01	0.152	2.38
Sulfato de magnesio	0.129	0.57	0.099	0.44
Fosfato monopotásico	0.073	2.22	0.059	1.79
Acido sulfúrico	0.036	0.46	0.027	0.34
Micronutrientes	0.014	2.25	0.011	1.77
TOTAL	1.065	15.69	0.849	12.56

FA= fertilizante aplicado; CF= costo del fertilizante

Ramos *et al.* (2002), en un estudio con tomate en suelo, observaron que al incrementar el nivel de nitrógeno de 80 a 240 kg ha<sup>-1</sup>, la eficiencia en el uso de éste elemento disminuyó a partir de los 160 kg ha<sup>-1</sup> y que por cada 120 kg ha<sup>-1</sup> (0.012 kg m<sup>-2</sup>) de N se obtuvieron alrededor de 28 ton ha<sup>-1</sup> (2.8 kg m<sup>-2</sup>), con lo cual se obtiene una EA de 233, lo cual contrasta fuertemente con nuestros resultados debido a que no se considera el aporte del suelo, es tomate de hábito determinado y se evaluó el rendimiento de todo el ciclo y en nuestro caso, el estudio se condujo en sustrato, con tomate de hábito indeterminado y solo se evaluó 2 meses de cosecha.

Casanova y Ribero (2006) evaluaron tres sistemas de fertilización en banano y descubrieron que los tratamientos con una mayor eficiencia agronómica tuvieron la menor eficiencia económica.

Torres *et al.* (2010) evaluaron diferentes fuentes de azufre en trigo y encontraron que el azufre elemental tiene una eficiencia agronómica igual a otras fuentes más solubles que aportan este elemento, como el sulfato de amonio.

El rendimiento de tomate y la venta de producción fueron mayores en SHA que en SHC, además de las cantidades de fertilizantes aplicados y el costo total de los fertilizantes, lo cual relacionó negativamente con la EA y EE (Cuadros 6 y 7).

**Cuadro 6.** Rendimiento, venta de producción, fertilizante total aplicado y costo total del fertilizante en dos sistemas hidropónicos para la producción de tomate.

Sistema hidropónico	R	VP	FTA	CTF
	kg m <sup>-2</sup>	\$ m <sup>-2</sup>	kg m <sup>-2</sup>	\$ m <sup>-2</sup>
SHA	10.78 a	107.80 a	1.065 a	15.69 a
SHC	9.04 b	90.40 b	0.849 b	12.56 b

-Valores con la misma letra dentro de cada columna para cada fuente de variación son estadísticamente iguales (Tukey  $\leq 0.05$ ); SHA= sistema hidropónico abierto; SHC= sistema hidropónico cerrado; VP= venta de producción; R= rendimiento; FTA= fertilizante total aplicado; CTF= costo total del fertilizante.

Amanullah y Almas (2009) encontraron una relación positiva entre el retorno neto, la relación costo/beneficio y el retorno marginal con el aumento de las dosis de nitrógeno en el cultivo de maíz. Sin embargo, al incrementar las cantidades de fertilizantes nitrogenados la eficiencia agronómica disminuyó, lo que coincide con los resultados encontrados en el presente estudio.

De acuerdo con la AMICI (2014), la superficie para producción de tomates con invernadero en México es de 13,000 has y si consideramos que el 10% de la superficie se encuentra con SHA entonces se tienen 1,300 has con este sistema y según los resultados del Cuadro 7 en un SHA se aplica, hasta el quinto racimo, 1.065 kg m<sup>-2</sup> de fertilizantes, entonces, anualmente se ocupan 13,845 toneladas

de estos insumos con un costo aproximado de 203 millones 970 mil pesos. De acuerdo con el Cuadro 7, con la aplicación de 1 kg de fertilizante se obtienen 10.12 y 10.64 kg de fruto para SHA y SHC, respectivamente y por cada peso gastado en fertilizantes se ganó 6.87 y 7.19 pesos para SHA y SHC, respectivamente.

**Cuadro 7.** Eficiencia agronómica y económica de los fertilizantes para la producción de tomate en un sistema hidropónico cerrado y abierto.

Sistema hidropónico	Eficiencia agronómica	Eficiencia económica
SHA	10.12 b	6.87 b
SHC	10.64 a	7.19 a

-Valores con la misma letra dentro de cada columna para cada fuente de variación son estadísticamente iguales (Tukey  $\leq 0.05$ ); SHA= sistema hidropónico abierto; SHC= sistema hidropónico cerrado.

## CONCLUSIONES

La eficiencia agronómica y económica fue mayor en el sistema hidropónico cerrado en comparación con el sistema hidropónico abierto, lo cual significa que el reciclaje de nutrientes en sistemas hidropónicos es una opción económicamente viable, en comparación con un sistema donde no se recupera la solución nutritiva.

## LITERATURA CITADA

Amanullah and Lal K. Almas. 2009. Partial Factor Productivity, Agronomic Efficiency, and Economic

Analyses of Maize in Wheat-Maize Cropping System in Pakistan. Southern Agricultural Economics Association Annual Meetings, Atlanta, Georgia.

Buresh, R. J. and Witt C. 2007. Fertilizer Best Management Practices: Site-specific nutrient management. *In: (IFA), I. f. i. a. (ed.)*. Bruselas, Belgica. 267 pp.

Casanova, E. y C. Rivero. 2006. Efecto de fuentes alternativas de fertilizantes con el método de la fertirrigación sobre la nutrición mineral y rendimientos de bananos en una finca del estado Aragua, Venezuela. *Agronomía Tropical*. 56(3): 325-344.

Cisse, L., and B. Amar. 2000. The importance of Phosphatic fertilizer for increased crop production in developing countries. *In: Proceedings of the AFA 6th International Annual conference*. Cairo, Egypt.



Clif, S. 2009. Memorias del Simposio Uso eficiente de nutrimentos *In: XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo*. San José, Costa Rica. pp. 11-19.

CIMMYT. 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos. Un manual metodológico de evaluación económica. 79 p.

Espinosa, J. y J. Garcia. 2009. Memorias del Simposio Uso eficiente de nutrimentos *In: XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo*. San José, Costa Rica. pp. 49-56.

Espinosa, J. and F. Mite. 2002. Estado actual y futuro de la nutrición y fertilización del banano. *Informaciones Agronómicas (INPOFOS)*, 48:4-10

Lahav, E. and D. Turner. 1992. Fertilización del banano para rendimientos altos. Segunda edición. Boletín N° 7. Instituto de la Potasa y el Fósforo. Quito, Ecuador. 71p.

Mortvedt, J.J., L.S. Murphy and R.H. Follett. 2001. Fertilizer technology and application. Meister Publishing Co, Willoughby, OH, USA.

Ojodeagua, A. J. L.; Castellanos R. J.; Muñoz R. J. J.; Alcántar G. G.; Tijerina Ch. L.; Vargas T. P. y Enríquez R. S. 2008. Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 31 (4): 367-374.

Ramos Lara C., G. Alcántar-González, A. Galvis-Spinola, A. Peña-Lomelí y A. Martínez-Garza. 2002. Eficiencia de uso del nitrógeno en tomate de cáscara en fertirriego. *TERRA*. 20:465-469.

Torres Duggan M., Mónica B. Rodriguez, Raúl S. Lavado y Ricardo Melgar. 2010. Eficiencia agronómica del azufre elemental relativa a una fuente azufrada soluble en trigo en la región pampeana. *Rev. Ciencia del Suelo Argentina*. 28 (1): 67-77.

Scholbewrg, J. M., R. Zotarelli, R. S. Tubbs, and M. D. Dukes. 2009. Nitrogen uptake efficiency and grownh of bell pepper in relation to time of exposure to fertilizer solution. *Communications in soil science and plant analysis*. 40: 2111-2131.

Snyder, C. S. 2009. Eficiencia de uso del nitrógeno: Desafíos mundiales, tendencias futuras. *Informaciones Agronómicas*. 75: 1-5.

## V. DISCUSIÓN GENERAL

El ahorro de agua y fertilizantes, sin disminución del rendimiento y sin incrementar costos de producción, es importante para el productor, además de minimizar las descargas de fertilizantes al ambiente. Dasgan y Ekici (2005) y Parra *et al.* (2009) reportan ahorros altos de fertilizantes cuando se recircula la solución nutritiva, pero señalan reducción del rendimiento, en cambio Pellicer *et al.* (2007) y Oztekin *et al.* (2008) indican que el rendimiento no cambia. Esto se puede contrastar con los resultados obtenidos ya que el tomate tipo saladette (H1) tuvo mayor cantidad de frutos pero éstos fueron de menor tamaño lo que impactó en el rendimiento total, en comparación con el tomate tipo bola (H2) y esto a su vez, aumentó la EUA. Se encontró significancia para la interacción S \* H solo para la variable NFP. Estos resultados también están relacionados con la cantidad de nutrientes que recibieron las plantas en SHC, ya que la SN recirculada se ajustó cada semana y SHA recibió diariamente la SN completa.

De acuerdo con Richards *et al.* (2002) la EUA está predeterminada por la carga genética de las variedades. En este sentido, Santiago *et al.* (1998) encontraron que el híbrido de tomate 'Celebrity' tipo bola tuvo una mayor EUA en comparación con otros 11 genotipos, lo cual correlacionó con el incremento de fotosíntesis. Se encontró que H2 fue estadísticamente mayor que H1, esto indica que el tomate tipo bola consume más carbono del aire con la misma cantidad de agua que un tomate tipo saladette (Medrano *et al.*, 2007).

Con respecto a las calidad de fruto, el DLF fue mayor en SHC y DEF menor en comparación con SHA, lo cual se relaciona con PPF y esto se explica por el menor suministro nutrimental en SHC, particularmente potasio, el cual está involucrado en el transporte de fotosintatos de las hojas a los frutos (Britto and Kronzucker, 2008) y el déficit de éste genera menor DEF y este síntoma ocasiona lo que comúnmente se denomina frutos cuadrados. Por otro lado SS y F fueron significativamente mayores en SHC seguramente por la menor cantidad de agua recibida en este sistema, lo cual coincide con Stikic *et al.* (2003) quienes evaluaron el efecto del SPR sobre la calidad de fruto en tomate.

El color rojo de frutos de tomate en SHC fue menor en contraposición con SHA y esto indica que el contenido de licopeno es menor. El color rojo de los frutos de tomate resulta de la síntesis de carotenos, principalmente del licopeno (Giuliano *et al.*, 1993; Fraser *et al.*, 1994; White, 2002). Existe una correlación directa entre SS y F, a mayor concentración de éstos F es mayor (Santiago *et al.*, 1998). Patanea *et al.* (2003), detectaron que el déficit hídrico mejoró el contenido total de SS, AT y el contenido de vitamina C. La EUA se vio afectada positivamente en el tratamiento con 50% de humedad, lo que sugiere que el cultivo no se beneficia del agua cuando esta última se suministra al cumplir con los requerimientos totales de cultivo para toda la temporada.

Sánchez *et al.* (2014) concluyen que el crecimiento de las plantas y el rendimiento de fruto fueron similares entre los sistemas con y sin recirculación de la solución nutritiva; incluso, con la hidroponía profunda el rendimiento fue mayor por unidad de superficie respecto a los sistemas abiertos sin recirculación, lo que significa que con un manejo del cultivo de jitomate basado en ciclos cortos, es posible recircular la solución nutritiva sin afectar el rendimiento y con un ahorro mayor a 30 % de agua y a 40 % de nutrimentos comparado con los sistemas sin recirculación. Se obtuvo que en un sistema hidropónico cerrado (SHC) con el reciclaje de la SN se ahorra 20.2% de la cantidad de fertilizantes aplicados y los costos de los fertilizantes disminuyen 19.9%, en comparación con un sistema hidropónico abierto convencional (SHA). El rendimiento de tomate y la venta de producción fueron mayores en SHA que en SHC, además de las cantidades de fertilizantes aplicados y el costo total de los fertilizantes, lo cual relacionó negativamente con la EA y EE.

Amanullah y Almas (2009) encontraron una relación positiva entre el retorno neto, la relación costo/beneficio y el retorno marginal con el aumento de las dosis de nitrógeno en el cultivo de maíz. Sin embargo, al incrementar las cantidades de fertilizantes nitrogenados la eficiencia agronómica disminuyó, lo que coincide con los resultados encontrados en el presente estudio.

De acuerdo con lo obtenido la aplicación de 1 kg de fertilizante se obtienen 10.12 y 10.64 kg de fruto para SHA y SHC, respectivamente y por cada peso gastado en fertilizantes se ganó 6.87 y 7.19 pesos para SHA y SHC, respectivamente. Sánchez *et al.* (2014) encontraron que del total aplicado en el sistema HP, el cultivo utilizó 62 % de N, 54 % de P, 74 % de K y 80 % de Ca, y el resto se desecharía al final del ciclo; a pesar de ello, los ahorros fueron 20.4, 48.1, 25.0 y 31.7 % respecto al sistema de cama sin recirculación. También dicen que la eficiencia en gramos de fruto producido (en peso fresco) por g de nutrimento aplicado del sistema cerrado (cama o bolsa) fue aproximadamente el doble que la del sistema abierto. También el sistema HP fue más eficiente en el uso de nutrimentos que el de cama abierta y esta eficiencia se traduce en menos costos por fertilizantes, y es favorable para el productor. Como consecuencia de la reutilización de la solución nutritiva, los sistemas cerrados fueron más eficientes en el uso de agua, con 27.1, 27.6 y 30.4 g de fruto producidos por L de agua usada en cama cerrada, HP y bolsa cerrada (Cuadro 4), lo cual coincide con lo reportado por Parra *et al.* (2009).

## VI. CONCLUSIONES GENERALES

1. La recirculación de la solución nutritiva permite un ahorro de agua y fertilizantes, sin embargo, la producción (NFP número frutos planta y PPF peso promedio frutos) y algunos atributos de calidad (DEF diámetro ecuatorial del fruto, C color y AT acidez titulable) son afectados. El SHC (sistema hidropónico cerrado) incrementó 12% la EUA (eficiencia del uso de agua) en comparación con el SHA (sistema hidropónico abierto), además de firmeza (F) y grados Brix (SS). El factor genético no influyó en la mayoría de los atributos de calidad, a excepción del color. La interacción S \* H fue significativa para las variables NFP, DEF y SS.
2. La eficiencia agronómica y económica fue mayor en el SHC en comparación con el SHA, lo cual significa que el reciclaje de nutrientes en sistemas hidropónicos es una opción económicamente viable, en comparación con un sistema donde no se recupera la solución nutritiva.

## VII. LITERATURA GENERAL CITADA

Amanullah and Lal K. Almas. 2009. Partial Factor Productivity, Agronomic Efficiency, and Economic Analyses of Maize in Wheat-Maize Cropping System in Pakistan. Southern Agricultural Economics Association Annual Meetings, Atlanta, Georgia.

Britto D. T. and Kronzucker H. J. 2008. Cellular mechanisms of potassium transport in plants *Physiol. Plant.* p. 1-14

Dasgan, H. Y., and B. Ekici. 2005. Comparison of open and recycling systems for ion accumulation of substrate, nutrient uptake and water and water use of tomato plants. *Acta Hort.* 697: 399-408.

Fraser, P. D.; Truesdale M. R.; Bird C. R.; Schuch W. and Bramley P. M. 1994. Carotenoid biosynthesis during tomato fruit development (Evidence for tissue-specific gene expression). *Plant Physiol.* 105(1): 405-413.

Giuliano, G.; Bartley G. E. and Scolnik P. A. 1993. Regulation of carotenoid biosynthesis during tomato development. *Plant Cell* 5: 379-387.



Medrano, H.; Bota J.; Cifre J.; Flexas J.; Ribas-Carbó M. y Gulías J. 2007. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones Geográficas*. 43: 63-84.

Oztekin, G. B., Y. Tüzel, I. H. Tüzel, and K. M. Meric. 2008. Effects of EC levels of nutrient solution on tomato crop in open and closed systems. *Acta Hort*. 801: 1243-1250.

Patanea, C.; Tringalia S. and Sortinob O. 2011. Effects of deficit irrigation on biomass, yield, water productivity and fruit quality of processing tomato under semi-arid Mediterranean climate conditions. *Scientia Horticulturae*. 129 (4): 590–596.

Parra, M., V. Raya, M. C. Cid, and J. Haroun. 2009. Alternative to tomato soilless culture in open system in the Canary Islands: preliminary results. *Acta Hort*. 807: 509-514.

Pellicer, C., A. Paredes, A. Abadía, A. Pérez, L. Rincón, and E. Balsalobre. 2007. Balance de micronutrientes en un cultivo de pimiento sobre sustrato perlita con

reutilización de las diluciones lixiviadas. XI Congreso SECH. Actas de Horticultura 48. Sociedad Española de Ciencias Hortícolas 473: 476.

Richards, R. A.; Rebetzke G. J.; Condon A. G. and van Herwaarden A. F.. 2002. Breeding Opportunities for Increasing the Efficiency of Water Use and Crop Yield in Temperate Cereals. *Crop Sci.*42:111–121.

Sánchez Del Castillo F., Moreno-Pérez E. C., Pineda-Pineda J., Osuna J. M., Rodríguez-Pérez J. E., Osuna-Encino T. 2014. Producción hidropónica de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) con y sin recirculación de la solución nutritiva. *AGROCIENCIA*. 48: 185-197.

Santiago, J.; Mendoza M. y Borrego F. 1998. Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana*. 9 (1): 59-65.

Stikic, R.; Popovic S.; Srdic M.; Savic D.; Jovanovic Z.; Prokic Lj. and Zdravkovic J. 2003. Partial root drying (PRD): a new technique for growing plants that saves water and improves the quality of fruit. *Bulg. J. Plant Physiol*, special issue, 164–171.

White, P. J. 2002. Recent advances in fruit development and ripening: an overview. *J. Exp. Bot.* 53(377): 1995-2000.

## VIII. ANEXOS



Figura 1. Sistemas de producción hidropónica.

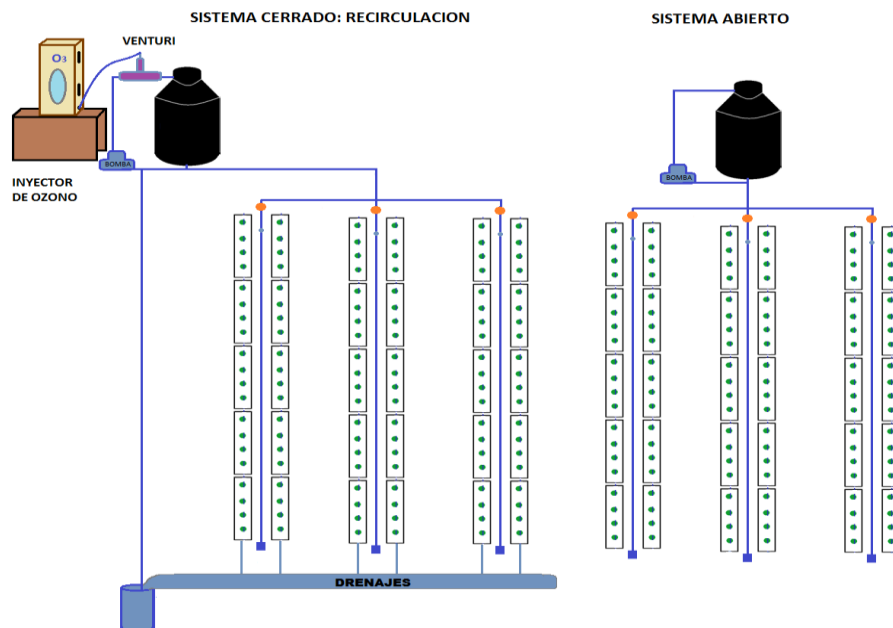


Figura 2. Diseño experimental.

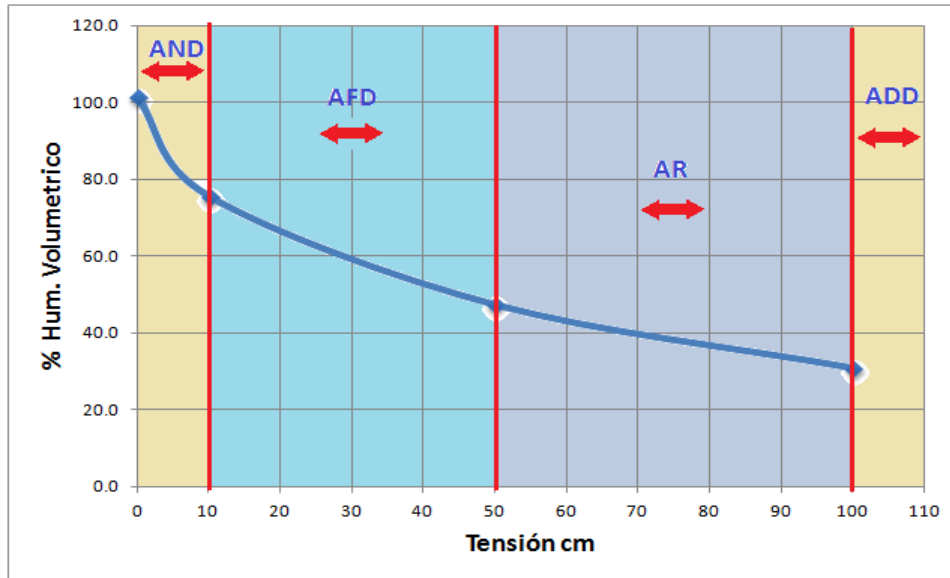


Figura 3. Puntos que integran la Curva de Retención de Humedad (obtenida en laboratorio). AND-Agua no disponible; AFD-Agua fácilmente disponible; AR-Agua de reserva; ADD-Agua difícilmente disponible.

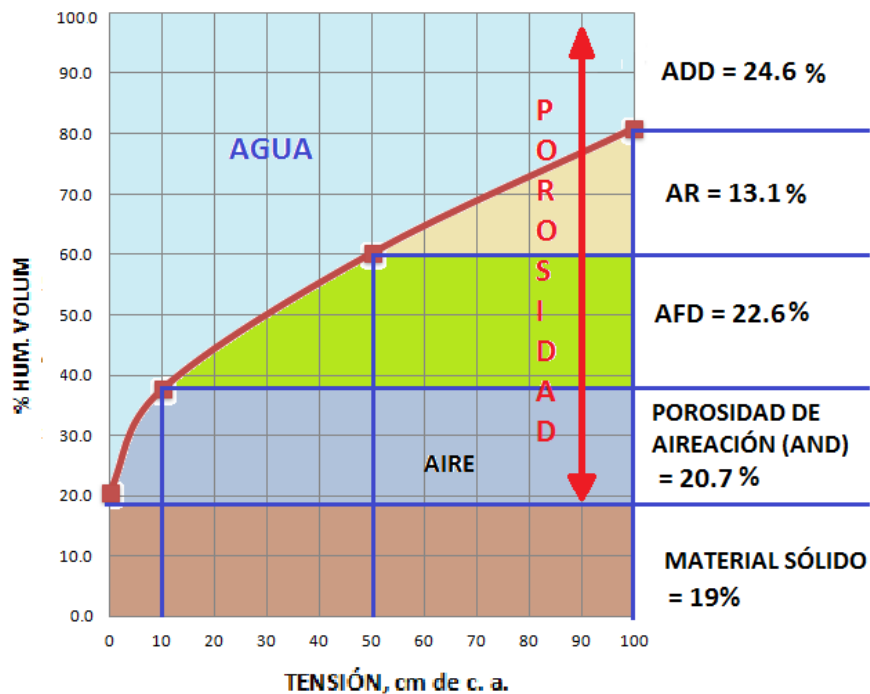


Figura 4. Curva de liberación de agua (obtenida en laboratorio). AND-Agua no disponible; AFD-Agua fácilmente disponible; AR-Agua de reserva; ADD-Agua difícilmente disponible.



Figura 5. Trasplante realizado el 6 mayo de 2014 en el Colegio de postgraduados.



Figura 6. Cosecha de ambos sistemas y variedades. Frutos en las plantas.