

# AGENTES FITOPATÓGENOS EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA PARA EL CULTIVO DE JITOMATE EN UN SISTEMA HIDROPÓNICO CERRADO

Rodolfo de la Rosa-Rodríguez, J. Jesús Avelar-Mejía, Alfredo Lara-Herrera, Julio Lozano-Gutiérrez, Juan Estrada-Casillas y Rodrigo Castañeda-Miranda

## RESUMEN

El jitomate o tomate (*Solanum lycopersicum* L.= *Lycopersicon esculentum* Mill.) es la hortaliza con mayor demanda a nivel mundial y su producción en agricultura protegida, en hidroponía, es cada vez mayor. El exceso de solución nutritiva (SN) que drena del sustrato se puede eliminar (sistema abierto) con la consecuente pérdida de eficiencia en el uso de agua y fertilizantes y contaminación del ambiente; o se puede reutilizar (sistema cerrado) para aprovechar los nutrientes y el agua, con el riesgo de provocar enfermedades en las raíces. La presente investigación se llevó a cabo con el objetivo de identificar cuales microorganismos fitopatógenos radiculares se pueden desarrollar en la SN de un sistema hidropónico cerrado en invernadero. El experimento consistió en cuatro trata-

mientos: descubierto (T1), parcialmente cubierto (T2), cubierto (T3) y entubado (T4), a través de los cuales se condujo la SN desde las macetas con perlita hasta los reservorios, con distintos grados de exposición a la intemperie dentro del invernadero para su reutilización; se llevaron a cabo cuatro repeticiones. De cada tratamiento se obtuvieron cinco muestras de SN drenada en distintas fechas y se sembraron en medio de cultivo. La presencia de fitopatógenos que atacan la raíz de jitomate fue nula. No hubo diferencias significativas en rendimiento entre tratamientos. Otras bondades de los sistemas recirculantes fueron el ahorro de agua y fertilizantes, estimados entre 25 y 30%, y la reducción en la generación de residuos contaminantes de SN drenada al ambiente.

## Introducción

La escasez de agua a nivel mundial orienta a un cambio en su uso para el riego, a fin de maximizar su ahorro y buen aprovechamiento, así como incrementar los rendimientos en los cultivos agrícolas, ya que la agricultura deberá mantener la seguridad alimentaria y al mismo tiempo proteger los recursos naturales (De Wrachien y Mudlagiri, 2015).

La mayoría de los cultivos en invernadero, entre ellos el jitomate o tomate, se han desarrollado utilizando sistemas hidropónicos con o sin sustrato, incrementando así rendimiento y calidad en frutos (Preciado *et al.*, 2011). Los

sustratos deben tener mayor retención de agua, aireación y facilidad para el desarrollo de las raíces, sirviendo como medio de anclaje a la planta, y pueden intervenir o no en la nutrición de la planta (Rodríguez *et al.*, 2013). Los cultivos sin suelo en los que se utilizan sustratos y se drena el exceso de solución nutritiva (SN) se conocen como abiertos. La SN que drena es dirigida al suelo, infiltrándose en el sitio hasta encontrarse con aguas subterráneas o, en el mejor de los casos, se capta para su uso fuera del invernadero. Sin embargo, estos sistemas presentan desventajas importantes como un alto consumo de agua y fertilizantes, además de causar un

impacto negativo en el ambiente. Los sistemas cerrados, a diferencia de los abiertos, presentan ventajas importantes por reusar la SN una vez que drena del sustrato, evitando su infiltración en el suelo y la contaminación ambiental. Además de permitir un bien ambiental, estos sistemas pueden retribuir al productor con un ahorro en agua y fertilizantes (Pardossi *et al.*, 2011; Sánchez-Del Castillo *et al.*, 2014a, b; Moreno-Pérez *et al.*, 2015).

La dispersión de los patógenos de la raíz es el principal riesgo en los sistemas hidropónicos cerrados. Algunos patógenos que infectan la raíz pueden ser dispersados a través de la SN, por lo que la

adopción de sistemas hidropónicos con recirculación se ha visto frenada (Sánchez-Del Castillo *et al.*, 2014b). Los patógenos que causan más problemas de enfermedades en la raíz son *Fusarium oxysporum*, *Verticillium* spp., *Pythium* spp. y *Phytophthora* spp., siendo estos dos últimos los más comunes en los sistemas hidropónicos con recirculación (Khalil y Alsanusi, 2010; Stewart-Wade, 2011; González *et al.*, 2013).

*Pythium* tiene una alta probabilidad de presencia y es frecuentemente severo en casi todo tipo de plantas producidas en sistemas hidropónicos. Materiales como sustratos, tuberías, tanques, goteros, etc., previamente utilizados

**PALABRAS CLAVE / Enfermedades Radiculares / Fitopatógenos / Hidroponía / Jitomate / *Lycopersicon esculentum* / Recirculación / *Solanum lycopersicum* /**

Recibido: 05/01/2016. Modificado: 20/03/2017. Aceptado: 21/03/2017.

**Rodolfo de la Rosa Rodríguez.** Ingeniero Agrónomo y Estudiante de Maestría en Ingeniería y Tecnología Aplicada, Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ), México.

**J. Jesús Avelar Mejía.** Doctor en Ciencias Agrícolas, Colegio de Postgraduados (COLPOS),

México. Profesor Investigador, UAZ, México.

**Alfredo Lara Herrera.** Doctor en Ciencias Agrícolas, COLPOS, México. Profesor Investigador, UAZ, México. Dirección: Unidades Académicas de Agronomía e Ingeniería, UAZ. Jardín Juárez #

147, Colonia Centro, Zacatecas, Zac., México, Código postal 98000. e-mail: alara204@hotmail.com

**Julio Lozano Gutiérrez.** Doctor en Ciencias Agrícolas, Universidad de Colima, México. Profesor Investigador, UAZ, México.

**Juan Estrada Casillas.** Maestro en Ciencias Agrícolas, UAZ, México. Profesor Investigador, UAZ, México.

**Rodrigo Castañeda Miranda.** Doctor en Ciencias en Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, México. Profesor Investigador, UAZ, México.

## PHYTOPATHOGEN AGENTS IN THE NUTRIENT SOLUTION FOR TOMATO CROP IN A CLOSED HYDROPONIC SYSTEM

Rodolfo de la Rosa-Rodríguez, J. Jesús Avelar-Mejía, Alfredo Lara-Herrera, Julio Lozano-Gutiérrez, Juan Estrada-Casillas and Rodrigo Castañeda-Miranda

### SUMMARY

*Tomato (Solanum lycopersicum L.= Lycopersicon esculentum Mill.) is the vegetable with the highest worldwide demand and its production is increasing under protected agriculture, in hydroponic conditions. The excess nutrient solution (NS) applied to a substrate in hydroponics, can be drained and removed (open system) or reused (closed system) to utilize nutrients and water. However, there is a risk of root diseases by reusing NS. This study was conducted in greenhouse conditions, in order to identify the growth of root phytopathogenic microorganisms in the NS of a closed hydroponic system. The experiment consisted of four treatments: uncovered (T1), partially covered (T2), covered (T3) and encased (T4), through which the NS was con-*

*ducted from the pots to the reservoirs inside the greenhouse for reuse, with varying degrees of exposure to the elements within the greenhouse. Four replicates were made. Five samples of each treatment NS were obtained at different times and plated in a culture medium. There was no presence of pathogens that attack the tomato roots. The recirculation of the NS for growing tomatoes in the different systems used did not lead to the development of pathogenic microorganisms that attack the roots of tomato or diminish the fruits yield. Another of the benefits of these production systems is saving water and fertilizers, estimated at 25 and 30%, and reducing the polluting waste emissions to the environment.*

## AGENTES FITOPATÓGENOS NA SOLUÇÃO NUTRITIVA PARA O CULTIVO DE TOMATE EM UM SISTEMA HIDROPÔNICO FECHADO

Rodolfo de la Rosa-Rodríguez, J. Jesús Avelar-Mejía, Alfredo Lara-Herrera, Julio Lozano-Gutiérrez, Juan Estrada-Casillas e Rodrigo Castañeda-Miranda

### RESUMO

*O tomate (Solanum lycopersicum L.= Lycopersicon esculentum Mill.) é a hortaliça com maior demanda no mundo e sua produção na agricultura protegida, em hidroponia, é cada vez maior. O excesso de solução nutritiva (SN) que drena do substrato pode ser eliminada (sistema aberto) com a consequente perda de eficiência no uso de água e fertilizantes assim como a contaminação do ambiente; ou pode ser reutilizada (sistema fechado) para aproveitar os nutrientes e a água, com o risco de provocar enfermidades nas raízes. A presente investigação foi realizada com o objetivo de identificar quais os microrganismos fitopatógenos radiculares que podem desenvolver-se na SN de um sistema hidropônico fechado em estufa. O experimento consistiu em quatro tratamentos:*

*descoberto (T1), parcialmente coberto (T2), coberto (T3) e entubado (T4), através dos quais se conduziu a SN desde os vasos com perlita até os reservatórios com distintos graus de exposição à intempérie dentro da estufa para sua reutilização; se realizaram quatro repetições. De cada tratamento se obtiveram cinco amostras de SN drenada em distintas datas e foram semeadas em meio de cultivo. A presença de fitopatógenos que atacam a raiz de tomate foi nula. Não houve diferenças significativas em rendimento entre tratamentos. Outras bondades dos sistemas recirculantes foram; o menor consumo de água e fertilizantes, estimados entre 25 e 30%, e a redução na geração de resíduos contaminantes de SN drenada ao ambiente.*

para la producción de cultivos hidropónicos con frecuencia pueden albergar *Pythium* y son a menudo fuentes potenciales de enfermedades en cultivos sucesivos. La recirculación de la SN es el principal medio por el cual se dispersan los patógenos en cultivos hidropónicos (Hultberg *et al.*, 2010; Stewart-Wade, 2011).

La pudrición de la raíz causada por *Pythium aphanidermatum* es una de las enfermedades más importantes del jitomate cultivado sin suelo en invernadero (Khalil y Alsanian, 2010). El control de esta enfermedad es complicado debido a que el patógeno, especialmente las zoosporas, puede propagarse

fácilmente en la SN de recirculación a todo el sistema de cultivo (Schwarz *et al.*, 2010; Stewart-Wade, 2011).

El mejor desarrollo de las plantas, la mayor producción y la mayor eficiencia en el uso del agua y los nutrientes se obtienen cuando la SN drenada del sustrato es de ~28% respecto a la aplicada; con porcentajes de drenaje menores puede ocurrir estrés hídrico y nutricional. El porcentaje de drenaje debe variar dependiendo de la demanda hídrica del cultivo; por las mañanas debe ser de 15% e incrementar progresivamente hasta 40% en las horas del día de mayor demanda, con un promedio diario de

27-30%, respecto a la SN aplicada (Vázquez-Gómez *et al.*, 2009; Agung y Yuliando, 2015).

Una alternativa sustentable para reducir el agua aplicada puede ser recircular la SN; no obstante, esto tiene mayor probabilidad de problemas de enfermedades (Sánchez-Del Castillo *et al.*, 2014b). Sin embargo, existen tecnologías y sustratos con bajo riesgo de daño por patógenos en el sistema radical de las plantas; además de tener propiedades físicas y químicas favorables, los sustratos siempre deben estar libres de patógenos cuando se utilizan por primera vez, y cuando son reutilizados deben ser desinfectados. Con estas

medidas, los sistemas cerrados son una alternativa efectiva para la producción intensiva de hortalizas (Mata-Vázquez *et al.*, 2010). Existe poca información sobre la incidencia de enfermedades por efecto de las formas de conducción de la SN al reservorio y la recirculación durante el desarrollo de los cultivos; ante la necesidad de ahorrar agua y fertilizantes en el proceso de producción de jitomate en invernadero con sustrato, es importante generar información al respecto.

El objetivo de esta investigación fue evaluar el desarrollo de microorganismos que atacan a la raíz, en cuatro tipos de conducción de la SN con dife-

rente grado de exposición a la intemperie en un sistema hidropónico cerrado con el cultivo de jitomate en invernadero. Se planteó la siguiente hipótesis: existe la presencia de microorganismos en la SN drenada que causan enfermedades a la raíz de jitomate, al conducir la SN a través de conducto con mayor exposición al ambiente hasta un reservorio para su recirculación en un sistema hidropónico cerrado en invernadero.

## Materiales y Métodos

### Ubicación del experimento y clima en el invernadero

El presente estudio se desarrolló en un invernadero tipo multitúnel de 640m<sup>2</sup>, con control pasivo de la circulación del aire, ubicado a los 22°43'42"N y 102°40'58"O, a una altitud de 2240msnm. Se midieron la temperatura y la humedad relativa dentro del invernadero, mediante cuatro sensores Watchdog® ubicados en cada túnel del invernadero. La información se recabó cada 15min durante el desarrollo del experimento, desde el 21/03/2014 al 04/11/2014. La temperatura media durante todo el ciclo dentro del invernadero fue de 24,7°C, la máxima promedio 33,3°C, la mínima promedio 17,3°C y la humedad relativa media 53,2%.

### Establecimiento del experimento

Se utilizó semilla de jitomate tipo saladete de hábito de crecimiento indeterminado, del cultivar 'El Cid' de Harris Moran Seed Company®. La siembra se llevó a cabo en charolas de 35ml por celda, el 16/02/2014, y se desarrollaron las plántulas durante 35 días después de la siembra. Luego se trasplantaron dos plantas en cada maceta con capacidad de 20 litros, utilizando como sustrato perlita fina (Hortipearl®) con las siguientes características: densidad aparente de 0,18g·cm<sup>-3</sup>, 27% de porosidad de aireación, capacidad de retención de agua de 37% y porosidad total de 60%.

## Tratamientos evaluados

Se utilizó un sistema hidropónico cerrado en el que se ensayaron cuatro tratamientos con relación al sistema de conducción de la SN (Figura 1). Cada tratamiento estuvo constituido por 67 macetas con dos plantas cada una, alineadas en una hilera y un canal o sistema de conducción de la SN, con cuatro repeticiones. El total de plantas en el experimento fue de 2144. Los tratamientos consistieron en cuatro sistemas de conducción de la SN:

**Sistema de conducción descubierto** (Tratamiento 1). Este sistema consistió en dejar el plástico completamente extendido en la superficie del suelo, es decir, en una línea horizontal, con el objeto de mantener la SN a su paso hasta el depósito de captación totalmente expuesta al medio ambiente del invernadero (Figura 1, a1 y a2).

**Sistema de conducción parcialmente cubierto** (Tratamiento 2). Similar al anterior, con la diferencia de que en éste el plástico no está extendido; está sujetado a la parte superior de un costado de las macetas cada 3m (cada 10 macetas), con la finalidad de proteger parcialmente la SN del medio ambiente (Figura 1, b1 y b2).

**Sistema de conducción cubierto** (Tratamiento 3). El plástico en este caso se sujetó totalmente a la parte superior de un costado de cada maceta para cubrir el paso de la SN hasta el reservorio, quedando sólo expuesta la parte inter-

media entre cada maceta (Figura 1, c1 y c2).

**Sistema de conducción entubado** (Tratamiento 4). En este tratamiento se instaló un tubo de PVC ranurado en la parte inferior de las macetas, las cuales se insertaron en él para garantizar la completa protección de la SN de drenaje, así como protegerla completamente de las condiciones del medio ambiente (Figura 1, d1 y d2).

### Manejo de las plantas

En lo relativo al manejo de plagas y enfermedades, se llevaron a cabo las medidas de control tal y como lo recomiendan Muños-Ramos (2009), Vasicek (2015) y Ronco y Ruscitti (2015), con las cuales se evitó la incidencia de enfermedades de la parte aérea del cultivo durante todo el ciclo.

Para el monitoreo del crecimiento de plantas de jitomate se empleó la metodología que reporta Muñoz-Ramos (2009) con el fin de asegurar que el crecimiento de la planta fuese equilibrado.

### Manejo de la solución nutritiva durante el experimento

Diariamente, se utilizó la solución nutritiva (SN) Steiner entre los primeros 25-30 riegos (75-80%). La SN drenada de cada tratamiento se almacenó en su respectivo reservorio antes de los últimos diez riegos de cada día, y para re-establecerla se añadió agua hasta abatir la CE a 17 ±1dS·m<sup>-1</sup> y posteriormente la cantidad nece-

saria de una solución 1N de nitrato de potasio para lograr una CE de 2,0 ±1dS·m<sup>-1</sup>, y la cantidad necesaria (cuando se requirió) de una solución 1N de ácido sulfúrico para re-establecer el pH a 5.5 ±1.

El agua usada para preparar la SN tuvo un pH= 7,23 y una CE= 0,55dS·m<sup>-1</sup>. La concentración de iones solubles fue (mol·m<sup>-3</sup>) de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: 0,21; H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>: 0,02; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>: 0,70; HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>: 3,60; Cl<sup>-</sup>: 0,80; Ca<sup>2+</sup>: 1,85; Mg<sup>2+</sup>: 1,48; K<sup>+</sup>: 0,26; Na<sup>+</sup>: 1,89; y la de los siguientes micronutrientes fue (mg·l<sup>-1</sup>) de Fe: 0,00; Mn: 0,01; Zn: 0,00; Cu: 0,00 y B: 0,10. Los fertilizantes utilizados fueron nitrato de calcio (Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·0,2NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O), nitrato de potasio (KNO<sub>3</sub>), sulfato de potasio (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), sulfato de magnesio (MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O), fosfato monopotásico (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>), ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) y ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Para proporcionar los micronutrientes se utilizó un fertilizante con una concentración de 6,6; 2,6; 1,1; 0,9; 0,3; y 0,2%, de Fe, Mn, Zn, B, Cu y Mo, respectivamente. Se aplicaron 26g de este fertilizante por cada m<sup>3</sup> de SN. El agua utilizada fue directamente de pozo profundo; la presencia de bacterias y hongos fue negativa.

El volumen de solución nutritiva aplicada fue suministrado mediante un sistema de fertirriego automático cuya frecuencia y tiempo de riego se programaron en función de la etapa de desarrollo y las condiciones ambientales dentro del invernadero. En la etapa de producción, en promedio al día se aplicaron 35 riegos de 4min cada uno. En cada maceta con dos plantas se instalaron dos goteros de 2l·h<sup>-1</sup> cada uno. Diariamente se tomó una muestra de SN de un gotero en cada tratamiento, para determinar la CE, el pH y la cantidad de solución aplicada.

La SN drenada de cada maceta fue conducida por gravedad a lo largo de cada hilera de macetas hasta su correspondiente contenedor de plástico con capacidad de 18 litros, y de éstos se bombaron a su respectivo tanque de 200 litros

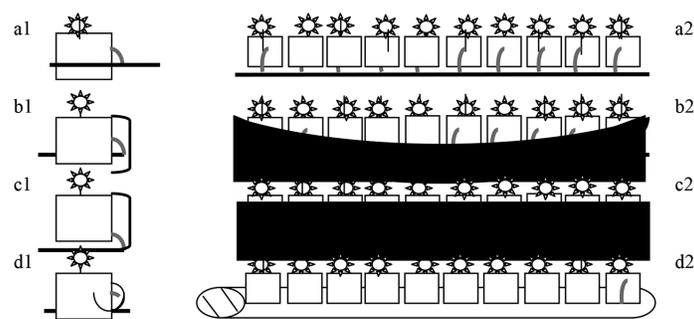


Figura 1. Vistas frontal (a1, b1, c1 y d1) y lateral (a2, b2, c2 y d2) de los sistemas de conducción y captación de la solución nutritiva a lo largo de la hilera de macetas con plantas de jitomate en los tratamientos: a) descubierto, b) parcialmente cubierto, c) cubierto y d) entubado.

mediante un sistema automático, para determinar la CE, el pH y la cantidad de solución captada. Los contenedores de la SN drenada fueron colocados en cada una de las 16 hileras de macetas (cuatro tratamientos con cuatro repeticiones).

El potencial de hidrogeno (pH) y la conductividad eléctrica (CE) se midieron diariamente, tanto en la SN aplicada en goteros como en la de drenaje, utilizando para ello un potenciómetro Hanna Combo HI98130.

#### Identificación y descripción de patógenos en la SN

Se obtuvieron muestras de SN de cada tratamiento y repetición a los 124, 138, 152, 166 y 180 días después del trasplante; a la vez, en cada muestra se tomaron cinco submuestras, y se sembraron las 20 repeticiones en cajas de Petri con medio de cultivo agua-agar y PDA (agar, dextrosa y papa). Las cajas se incubaron durante dos días a 23°C y después de este tiempo los crecimientos fungosos y/o bacterianos que se obtuvieron se transfirieron a nuevas cajas de Petri con PDA. La identificación de los patógenos (a nivel de género), se realizó mediante claves especializadas (Waterhouse, 1968; Barnett y Hunter, 1972).

#### Rendimiento

El rendimiento fue medido con base en los 25 cortes de fruto de jitomate realizados durante el ciclo del cultivo (Marzo-Noviembre). El pesaje de los frutos se realizó por tratamiento y repetición, con una precisión de 0,1g.

Cada cinco días a partir del 17 de junio se pesaron los frutos producidos por cada unidad experimental y se clasificaron por calidad (peso) de acuerdo con la escala siguiente: primera (>130g), segunda (100-130g), tercera (60-100g) y cuarta (< 60g).

#### Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al

azar, con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. A los resultados de las variables evaluadas se les aplicó análisis de varianza y prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

### Resultados y Discusión

#### Fitopatógenos asociados con la solución nutritiva

En el presente trabajo no se detectó la presencia ni daños ocasionados por agentes fitopatógenos que ataquen a la raíz de la planta. El hongo *Cladosporium fulvum* (Cooke, 1883) se presentó en la parte aérea de tres de las 2144 plantas de que constó el experimento. Las plantas correspondieron a diferentes tratamientos, por lo cual no tuvieron relación ni con el tipo de conducción y en general con la recirculación de la SN, ya que se trató de un patógeno aéreo del cultivo de tomate. Estas plantas enfermas fueron eliminadas de inmediato cuando se detectaron y posteriormente no hubo reincidencia de este hongo. Además, como medida preventiva para evitar la diseminación, se aplicó en todo el invernadero un producto con azufre y oxiclorigo de cobre.

Las plantas, durante el tiempo que duró el experimento (212 días), no mostraron síntomas que indicaran la presencia de algún fitopatógeno con origen en el sustrato-SN-raíz.

La frecuencia de presencia de microorganismos totales en cinco muestreos de SN fue prácticamente nula; menos de 0,19 presencias en todas las muestras analizadas (Figura 2). Entre ellos se detectó *Aspergillus* y *Actinomyces* que solo se identificaron al nivel de género debido a que no son considerados fitopatógenos del tomate, por su estructura micelial y por no presentar ninguna sintomatología que los identificará como tales (González *et al.*, 2012, 2013). Se detectó bacterias que, de acuerdo a su coloración naranja y rojiza en medio PDA y a su morfología (esféricas) observada en microscopio, no cumplen las características de fitopatógenas (Holt *et al.*, 1994),

siendo innecesaria por esta razón su identificación al grado de especie. Además, no hubo diferencias estadísticas entre tratamientos por efecto de la frecuencia de presencia de microorganismos totales en la SN (Figura 2).

Déniel *et al.* (2006) reportan poblaciones de los hongos *Fusarium oxysporum* y *Pythium* spp. de 180 a 3000 UFC/l y 47 a 140 UFC/l, respectivamente, así como de  $3,6 \times 10^4$  a  $2,1 \times 10^5$  UFC de bacterias mesofílicas aeróbicas fluorescentes *Pseudomonas*, en la SN de recirculación en un invernadero de producción comercial de tres variedades de jitomate durante tres años, una variedad en cada año. La razón por la cual estos investigadores encontraron microorganismos puede ser debida a la presencia de éstos desde el establecimiento del cultivo, siendo posteriormente las condiciones, durante el proceso de desarrollo del cultivo, idóneas para su crecimiento (Khalil y Alsanius, 2010). En el presente experimento la presencia de microorganismos fitopatógenos fue nula, debido al manejo desde el inicio y durante el proceso de producción, que limitó las condiciones ambientales favorables para el desarrollo de enfermedades (González *et al.*, 2013).

Schwarz *et al.* (2010) y Stewart-Wade (2011) reportan que en un sistema hidropónico con recirculación de la SN,

cuando no se da el manejo apropiado se incrementa el riesgo de enfermedades en las raíces, dentro de las cuales el microorganismo fitopatógeno que puede presentar mayor riesgo es *Pythium*. Sin embargo, en el presente trabajo no se presentó, ni en el tratamiento con mayor exposición a la intemperie, no obstante que Stewart-Wade (2011) menciona que en estas condiciones se puede presentar el mayor riesgo.

#### Variables medidas en la solución nutritiva

A lo largo del ciclo se tuvo un control en la SN en goteros. El volumen diario aplicado fue de 865ml en las primeras etapas del cultivo, hasta 3,26 litros en la etapa de máxima demanda hídrica de la planta, que corresponde con un volumen diario por planta de jitomate en etapa de producción. El volumen de SN aplicado por planta y por día es variable, porque depende de la demanda de la planta, la cual está en función de la etapa de desarrollo y las condiciones ambientales. Cuadrado-García *et al.* (2014) reportan 2,0 litros/planta en la etapa de demanda máxima con días soleados, mientras que Pardossi *et al.* (2011) reportan 3,0 a 3,5 l·m<sup>-2</sup>/día para jitomate en el sistema hidropónico NFT y de 2,5 l·m<sup>-2</sup>/día con perlita, considerando una

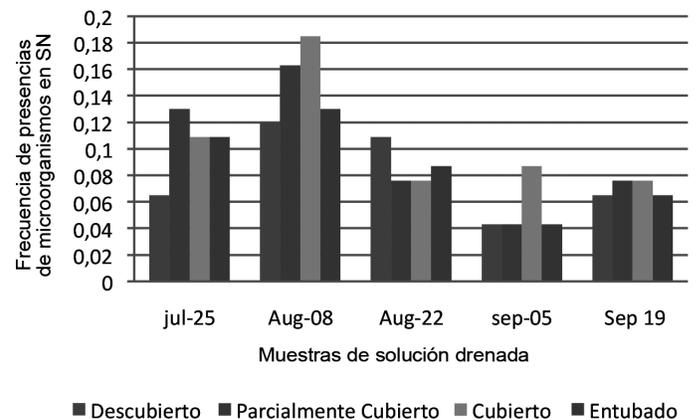


Figura 2. Presencia de microorganismos en cuatro tratamientos de conducción de SN de las macetas al reservorio de un sistema hidropónico cerrado para la producción de jitomate, en cinco etapas de desarrollo del cultivo en el año 2014 (N=20).

densidad de 2,2 plantas/m<sup>2</sup>; el agua aplicada fue de 1,364 a 1,591 y 1,136 litros/planta y día, respectivamente.

El pH de la SN aplicada se mantuvo entre 5,5 y 6,0; y la CE entre 2,0 y 2,3dS·m<sup>-1</sup>. La SN drenada de las macetas varió de 20 a 32% respecto a la SN aplicada. El pH en la SN drenada tendió a acidificarse, bajando a 5,2 ±0,1. La CE de la SN drenada se incrementó a valores de 3,1 a 5,5dS·m<sup>-1</sup>; la CE media de esta SN drenada corresponde con el límite máximo que recomiendan Pardossi *et al.* (2011) para mantenerla en recirculación.

### Rendimiento

El rendimiento medio de frutos obtenido fue de 25,33kg·m<sup>-2</sup> y no se presentaron diferencias por efecto de los tratamientos evaluados (Tabla I). El rendimiento obtenido es 29% mayor al reportado en los invernaderos comerciales de Italia con plantas de jitomate injertadas (Pardossi *et al.*, 2011). Estos autores tampoco encontraron diferencias en el rendimiento entre un sistema cerrado y uno abierto.

En los 25 cortes de tomate cosechados durante el ciclo del cultivo, los tratamientos ensayados tampoco tuvieron efecto en el tamaño de los frutos. Las categorías de primera y segunda calidad presentaron mayor porcentaje en rendimiento, entre 85 y 88%, y solo en los frutos de la tercera categoría el

tratamiento descubierto tuvo mayor porcentaje de frutos que el entubado (Tabla I). Esto es resultado de mantener un manejo adecuado de la SN y del cultivo para cada etapa fenológica (Hernández *et al.*, 2011; López *et al.*, 2011) así como del control del clima dentro del invernadero, es decir, un buen manejo agronómico del cultivo (Soto-Bravo, 2015). Los resultados en estos rendimientos fueron en gran medida obtenidos por la ausencia de enfermedades que incidieran negativamente en el rendimiento del cultivo, lo cual coincide con Ronco y Ruscitti (2015).

### Conclusiones

La solución nutritiva recirculada sin ningún método de desinfección, utilizando solamente el manejo adecuado de la misma, en un sistema hidropónico cerrado no tiene efecto en la incidencia de enfermedades de la raíz en un cultivo de jitomate durante ocho meses.

Por medio de la recirculación de la solución nutritiva drenada se logra un ahorro de agua y fertilizantes en un 30 y 25%, respectivamente, respecto a los sistemas abiertos. Con este ahorro se reduce la liberación de residuos contaminantes al medio ambiente.

La solución nutritiva cuando es conducida por cualquiera de los métodos ensayados puede ser recirculada en un sistema hidropónico cerrado sin ningún método de desinfección y, por

lo tanto, sin riesgos de problemas fitosanitarios en la raíz del cultivo.

### REFERENCIAS

- Agung PP, Yuliando H (2015) Soilless culture system to support water use efficiency and product quality: a review. *Agric. Agric. Sci. Procedia* 3: 283-288.
- Barnett HL, Hunter BB (1972) *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. 4ª ed. McMillan. Nueva York, EEUU. 218 pp.
- Cuadrado-García LN, López-Roa EN, Bojacá-Aldana CR, Almanza-Merchan PJ (2014) Influencia del nitrógeno en la producción del tomate (*Lycopersicon esculentum* L) sembrado en sustrato en Sutamarchán (Boyacá). *Cienc. Agric.* 11:85-90.
- Déniel F, Renault D, Tirilly Y, Barbier G, Rey P (2006) A dynamic biofilter to remove pathogens during tomato soilless culture. *Agron. Sustain. Devel.* 26: 185-193.
- De Wrachien D, Mudlagiri BG (2015) Global warming effects on irrigation development and crop production: a world wide view. *Agric. Sci.* 6: 734-747.
- González AA, Mateos Rocha RA, López M, Hernández ML, González Castro A (2013) Alternativas para el manejo de damping off en plántulas de tomate *Lycopersicon esculentum* Mill (L, 1753) (Solanales: Solanaceae). *Rev. Biol. Agropec. Tuxpan* 1: 1-10.
- González I, Yailén A, Peteira B (2012) Aspectos generales de la interacción *Fusarium oxysporum* f. sp. lycopersici-tomate. *Rev. Protec. Veg.* 27: 1-7.
- Hernández SM, Peña ME, Rodríguez GB, Rodríguez RE, Díaz RC (2011) Influence of agronomic variables on quality of tomato fruits. *Agric. Sci.* 2: 424-431.
- Holt GJ, Krieg RN, Sneath APH, Stanley TJ, Williams TS (1994) *Bergey's Determinative Bacteriology*. 1ª ed. Williams & Williams. Baltimore, MD, EEUU. 787 pp.
- Hultberg M, Alsberg T, Khalil S, Alsanius B (2010) Suppression of disease in tomato infected by *Pythium ultimum* with a biocontrol agent produced by *Pseudomonas koreensis*. *Biocontrol* 55: 435-444.
- Khalil S, Alsanius BW (2010) Evaluation of biocontrol agents for managing root diseases on hydroponically grown tomato. *J. Plant Dis. Protec.* 117: 214-219.
- López APP, Cano Montes A, Rodríguez De La Rocha GS, Torres Flores N, Rodríguez Rodríguez SM, Rodríguez Rodríguez R (2011) Efecto de diferentes concentraciones de potasio y nitrógeno en la productividad de tomate en cultivo hidropónico. *Tecnociencia* 5: 98-104.
- Mata-Vázquez H, Anguiano-Aguilar RA, Vázquez-García E, Gazano-Izquierdo J, González-Flores D, Ramírez-Meraz M, Padron-Torres E, Basanta-Cornide R, García-Delgado MA, Cervantes-Martínez JE (2010) Producción de tomate sistema hidropónico con solución nutritiva reciclable en sustrato de Tezontle. *CienciaUAT* 16: 50-54.
- Moreno-Pérez EC, Sánchez-Del Castillo F, Gutiérrez-Tlaque J, González-Molina L, Pineda-Pineda J (2015) Greenhouse lettuce production with and without nutrient solution recycling. *Rev. Chapingo Ser. Hort.* 21: 43-55.
- Muñoz-Ramos JJ (2009) Manejo del cultivo de tomate en invernadero. En Castellanos JZ (Ed.) *Manual de Producción de Tomate en Invernadero*. Intagri. Celaya, México. pp. 45-92.
- Pardossi A, Carmassi G, Diara C, Incrossi L, Maggini R, Massa D (2011) *Fertigation and Substrate Management in Closed Soilless Culture*. 1ª ed. Università di Pisa. Italia. 64 pp.
- Preciado Rangel P, Fortis Hernández M, García-Hernández JL, Rueda Puente EO, Esparza Rivera JR, Lara Herrera A, Segura Castañeda MA, Orozco Vidal J (2011) Evaluación de soluciones nutritivas orgánicas en la producción de tomate en invernadero. *Interciencia* 36: 689-693.
- Rodríguez Díaz E, Salcedo Pérez E, Rodríguez Macías R, González Eguarte DR, Mena Munguía S (2013) Reúso del tezonlte: efecto en sus características físicas y en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Terra Latinoam.* 31: 275-284.
- Ronco L, Ruscitti M (2015) Enfermedades en cultivos hidropónicos. En Beltrano J, Jiménez D (Eds.) *Cultivo en Hidroponía*. Universidad de la Plata. Argentina. pp. 129-139.
- Sánchez-Del Castillo F, González-Molina L, Moreno-Pérez EC, Pineda-Pineda J, Reyes-González CE (2014a) Dinámica nutricional y rendimiento de pepino cultivado en hidroponía con y sin recirculación de la solución nutritiva. *Fitotec. Mex.* 37: 261-269.

TABLA I

PORCENTAJE DE FRUTOS DE JITOMATE POR PESO Y RENDIMIENTO POR EFECTO DE CUATRO SISTEMAS DE CONDUCCIÓN DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA DRENADA DESDE LAS MACETAS Y CONDUcida HACIA LOS RESERVORIOS PARA SU RECIRCULACIÓN EN UN SISTEMA HIDROPÓNICO CERRADO, EN UN CICLO DE MARZO A NOVIEMBRE DE 2014 (N= 4).

Tratamiento	Porcentaje de frutos				Rendimiento (kg m <sup>-2</sup> )
	1 *	2	3	4	
Descubierto	38 a**	47 a	11 a	4 a	26,880 a
Parcialmente cubierto	40 a	46 a	10 ab	4 a	25,023 a
Cubierto	39 a	46 a	10 ab	5 a	25,116 a
Entubado	41 a	47 a	7 b	5 a	24,317 a

\* Categorías por peso: 1-primera (>130g por fruto), 2-segunda (100-130g por fruto), 3-tercera (60-100g por fruto), y 4-cuarta (<60g por fruto).

\*\* Cifras seguidas con letra diferente en cada columna son estadísticamente diferentes (Tukey p ≤ 0.05).

- Sánchez-Del Castillo, F, Moreno-Pérez EC, Pineda-Pineda J, Osuna JM, Rodríguez-Pérez JE, Osuna Encino T (2014b) Producción hidropónica de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) con y sin recirculación de la solución nutritiva. *Agrociencia* 48: 185-197.
- Schwarz D, Beuch U, Bandte M, Fakhro A, Büttner C, Obermeier C (2010) Spread and interaction of Pepino mosaic virus (PepMV) and *Pythium aphanidermatum* in a closed nutrient solution recirculation system: effects on tomato growth and yield. *Plant Pathol.* 59: 443-452.
- Soto-Bravo F (2015) Oxifertirrigación química mediante riego en tomate hidropónico cultivado en invernadero. *Agron. Mesoam.* 26: 277-289.
- Stewart-Wade SM (2011) Plant pathogens in recycled irrigation water in commercial plant nurseries and greenhouses: their detection and management. *Irrigat. Sci.* 29: 267-297.
- Vasicek AL (2015) Sanidad vegetal. Plagas. En Beltrano J, Jiménez D (Eds.) *Cultivo en Hidroponía*. Universidad de la Plata. Argentina. pp. 109-127.
- Vázquez-Gómez V, Villalobos-Reyes S, Castellanos JZ (2009) Manejo del riego en sustratos. En Castellanos JZ (Ed.) *Manual de Producción de Tomate en Invernadero*. Intagri. Celaya, México. pp. 157-186.
- Waterhouse GM (1968) *Key to Pythium*. 1ª ed. Mycol Papers. Nueva York, EEUU.