



Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas

ISSN: 2007-0934

revista\_atm@yahoo.com.mx

Instituto Nacional de Investigaciones

Forestales, Agrícolas y Pecuarias

México

Vázquez Díaz, David Alejandro; Salas Pérez, Lilia; Preciado Rangel, Pablo; Segura  
Castruita, Miguel Ángel; González Fuentes, José Antonio; Valenzuela-García, Jesús  
Rodolfo

Efecto del ácido salicílico en la producción y calidad nutracéutica de frutos de tomate  
Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, núm. 17, noviembre-diciembre, 2016, pp. 3405-  
3414

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias  
Estado de México, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263149506002>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

## **Efecto del ácido salicílico en la producción y calidad nutraceutica de frutos de tomate\***

### **Effect of salicylic acid in the production and quality nutraceutical tomato fruits**

**David Alejandro Vázquez Díaz<sup>1</sup>, Lilia Salas Pérez<sup>2</sup>, Pablo Preciado Rangel<sup>1§</sup>, Miguel Ángel Segura Castruita<sup>3</sup>, José Antonio González Fuentes<sup>1</sup> y Jesús Rodolfo Valenzuela-García<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Periférico y Carretera a Santa Fe s/n. Torreón, Coahuila, México. (davidvd-2188@hotmail.com; j\_valenzuela1@yahoo.com.mx; jagf252001@gmail.com). <sup>2</sup>Universidad Politécnica de Gómez Palacio; Gómez Palacio, Durango, México. (lilia-nt@hotmail.com). <sup>3</sup>Instituto Tecnológico de Torreón, Coahuila, México (dmilys5@hotmail.com). <sup>§</sup>Autor para correspondencia: ppreciador@yahoo.com.mx.

#### **Resumen**

El uso de moléculas de señalización como el ácido salicílico es una práctica que se utiliza para mejorar el rendimiento y calidad de los cultivos. El objetivo del presente trabajo fue estudiar el efecto de diferentes dosis de ácido salicílico sobre el rendimiento y la calidad de frutos de tomate. El ácido salicílico fue agregado a la solución nutritiva en dosis crecientes: 0.0, 0.025, 0.05, 0.1, 0.2, y 0.4 mM. Los resultados indican que la aplicación de dosis bajas de ácido salicílico (0.02 mM), incrementa el rendimiento y dosis altas lo disminuyen 43%. La calidad de los frutos fue mayor en dosis altas 0.2 y 0.4 mM. El uso del ácido salicílico es una alternativa viable para incrementar la producción y enriquecer la calidad nutraceutica de frutos de tomate con posibilidad de mejorar la salud pública al ser consumidos.

**Palabras clave:** antioxidantes, compuestos fitoquímicos, moléculas de señalización.

#### **Abstract**

The use of signaling molecules such as salicylic acid is a practice that is used to improve the yield and quality of crops. The aim of this work was to study the effect of different doses of salicylic acid on yield and quality of tomato fruits. The salicylic acid it was added to the nutrient solution in increasing doses: 0.0, 0.025, 0.05, 0.1, 0.2, and 0.4 mM. The results indicate that the application of low doses of salicylic acid (0.02 mM), increases throughput and high doses decrease the 43%. The fruit quality was higher in high doses 0.2 and 0.4 mM.. The use of salicylic acid is a viable option for increasing production and enrich the nutraceutical quality of tomato fruits with potential to improve public health when consumed alternative.

**Keywords:** antioxidants, phytochemicals, signaling molecules.

\* Recibido: mayo de 2016  
Aceptado: agosto de 2016

## Introducción

El incremento de la producción y calidad de productos hortícolas es un tema de interés para muchos investigadores, ya que los rendimientos de las hortalizas y las propiedades nutraceuticas de sus frutos son bajos en los sistemas de producción a cielo abierto y bajo condiciones protegidas (Gómez *et al.*, 2009; López-Elías *et al.*, 2011). Existen diferentes alternativas para aumentar los rendimientos de los cultivos en la agricultura protegida, tales como la ampliación del área cultivada, la disminución de las condiciones de estrés que afectan el desarrollo de las plantas (Martínez-Valverde *et al.*, 2002) así como el uso de moléculas de señalización, que son moléculas que provocan eventos de respuesta a nivel molecular (Xu *et al.*, 2009).

Una de estas moléculas es el ácido salicílico (AS), ya que propicia efectos de respuesta de los cultivos a nivel celular que favorecen su desarrollo; el AS participa en diversos procesos fisiológicos tales como termogénesis, resistencia a patógenos, inducción a la floración, el crecimiento de raíces y absorción de nutrimentos (Hayat *et al.*, 2007, Larqué-Saavedra y Martín-Mex, 2007). A nivel celular provoca la mitigación del estrés en la planta e incrementa el rendimiento y calidad de sus frutos (Sánchez-Chávez *et al.*, 2011); además, ayuda a alargar su vida de anaquel (Wang *et al.*, 2011).

Investigaciones recientes indican que el AS estimula la biosíntesis de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante en frutos que, al ser consumidos, mejoran la salud pública (Khalili *et al.*, 2010; Khandaker *et al.*, 2011). El efecto de AS ha sido evaluado en la producción de diferentes hortalizas como chile jalapeño (Sánchez-Chávez *et al.*, 2011) y habanero (Guzmán-Antonio *et al.*, 2012); así como en la capacidad antioxidante de acelga, coliflor y repollo (Ramírez *et al.*, 2006) e incluso en el pretratamiento de semillas para su germinación (Rodríguez-Larramendi *et al.*, 2008). Asimismo, se ha determinado que el AS influye en el rendimiento y enraizamiento de plantas de tomate (Enríquez del Valle *et al.*, 2001) e incluso en el desarrollo del vástago y raíz de plántulas de este cultivo hortícola (Larqué-Saavedra *et al.*, 2010). Lo anterior significa que el AS representa una alternativa en la producción de tomate de calidad.

El tomate (*Solanum lycopersicom* L.) es una de las especies hortícolas más cultivada en todo el mundo, su demanda aumenta continuamente y con ello su producción y comercio (Martínez *et al.*, 2016). En los últimos años, el mercado y

## Introduction

The increase in production and quality of horticultural products is an issue of interest to many researchers, as yields of vegetables and nutraceutical properties of its fruits are low in production systems open and under protected conditions (Gómez *et al.*, 2009; López-Elías *et al.*, 2011). There are different ways to increase crop yields in the protected agriculture, such as the expansion of cultivated area, lower stress conditions that affect plant growth (Martínez-Valverde *et al.*, 2002) and the using signaling molecules, are molecules that cause response events at the molecular level (Xu *et al.*, 2009).

One of these molecules is salicylic acid (AS), since favorable effects of crop response at the cellular level that favor its development; the AS participates in various physiological processes such as thermogenesis, pathogen resistance, induction of flowering, root growth and nutrient uptake (Hayat *et al.*, 2007, Larqué -Saavedra and Martin-Mex, 2007). At the cellular level causes mitigation plant stress and increases the yield and quality of its fruits (Sánchez-Chávez *et al.*, 2011); also helps extend shelf life (Wang *et al.*, 2011).

Recent research indicates that the AS stimulates the biosynthesis of phenolic compounds and antioxidant capacity of fruits which, when consumed, improve public health (Khalili *et al.*, 2010; Khandaker *et al.*, 2011). The effect of AS has been evaluated in the production of various vegetables such as jalapeno (Sánchez-Chávez *et al.*, 2011) and habanero pepper (Guzmán-Antonio *et al.*, 2012); as well as the antioxidant capacity of chard, cauliflower and cabbage (Ramírez *et al.*, 2006) and even in the pretreatment of seeds for germination (Rodríguez-Larramendi *et al.*, 2008). Also, it has been determined that the AS affects performance and rooting of tomato plants (Enríquez del Valle *et al.*, 2001) and even in the development of stem and root seedlings of this horticultural crop (Larqué-Saavedra *et al.*, 2010). This means that the AS represents an alternative in producing quality tomato.

The tomato (*Solanum lycopersicom* L.) is one of the most cultivated horticultural species worldwide, demand continuously increases and thus their production and trade (Martínez *et al.*, 2016). In recent years, the market and consumers demand quality and nutrition in fruits, in this sense, the tomato crop has been identified as a functional and nutraceutical food (Adalid *et al.*, 2010), so that research

los consumidores exigen calidad y nutrición en los frutos, en este sentido, el cultivo de tomate se ha identificado como un alimento funcional y nutraceutico (Adalid *et al.*, 2010), por lo que las investigaciones que se enfocan en estos temas son de interés (Gruda, 2009). Sin embargo, información acerca del efecto de la aplicación de AS en la producción de tomate y la calidad de sus frutos es escasa. Bajo esta perspectiva, el objetivo del presente trabajo fue estudiar la influencia que tiene la aplicación de diferentes dosis de AS sobre el rendimiento y la calidad nutraceutica en el cultivo de tomate desarrollado bajo condiciones protegidas.

La producción de tomate bajo condiciones de invernadero es una alternativa para incrementar la producción, en comparación con el tomate a campo abierto (Rodríguez-Dimas y García-Hernández, 2013). Por medio de los sistemas de producción de agricultura protegida se obtiene un mayor rendimiento y una mejora en la calidad de los productos, así como también un uso eficiente de fertilizantes (Ojodeagua *et al.*, 2008), y del agua (Segura-Castruita *et al.*, 2011).

Sin embargo para mantener una alta productividad de los cultivos bajo condiciones de invernadero, se tiene dependencia de un alto uso de productos agroquímicos (Preciado *et al.*, 2011), pero en los últimos años se ha propuesto el uso de moléculas de señalización como el ácido salicílico con el propósito de incrementar los rendimientos y una mejora en la calidad de los frutos (Herrera-Martínez *et al.*, 2013). Debido a que la población va en incremento por lo que es necesario identificar estrategias que permitan cubrir las demandas futuras de alimentos (Andrade, 1998) de igual manera hoy en día los comensales se preocupan por los componentes bioactivos o nutraceuticos que están presentes en los alimentos, debido a que estos propician una ayuda o previenen las enfermedades crónicas y degenerativas (Llacuna and Mach, 2012).

Así como también si generan efectos positivos para promover y restaurar las funciones fisiológicas del organismo humano (Méndez *et al.*, 2014). Ya que estas son las principales causas de muertes (Gómez *et al.*, 2010). En este sentido la producción de cultivos por medio del suministro de reguladores de crecimiento y nutrientes sería una alternativa favorable ya que incrementa las tasas de rendimiento y la calidad de los cultivos (Sánchez-Chávez *et al.*, 2011). Ya que con la aplicación de reguladores del crecimiento en el cultivo de tomate se estimulan

focus on these issues are of interest (Gruda, 2009). However, information about the effect of the application of AS in tomato production and quality of fruit is scarce. In this perspective, the objective of this work was to study the influence of the application of different doses of AS on the performance and quality nutraceutical tomato crop developed under protected conditions.

The tomato production under greenhouse conditions is an alternative to increase production, compared to open field tomato (Rodríguez-Dimas and García-Hernández, 2013). Through production systems of protected agriculture is obtained increased performance and improved product quality, as well as efficient use of fertilizers (Ojodeagua *et al.*, 2008), and water (Segura-Castruita *et al.*, 2011).

However to maintain high productivity of crops under greenhouse conditions, we have dependence on a high use of agrochemicals (Preciado *et al.*, 2011), but in recent years has proposed the use of signaling molecules such as salicylic acid in order to increase yields and improved quality of the fruit (Herrera-Martínez *et al.*, 2013). Because the population is increasing so it is necessary to identify strategies to meet future food demands (Andrade, 1998) likewise today diners for bioactive components or nutraceuticals that are present in food care, because these are conducive help or prevent chronic and degenerative diseases (Llacuna and Mach, 2012).

And also if they generate positive effects to promote and restore the physiological functions of the human organism (Mendez *et al.*, 2014). Since these are the main causes of death (Gómez *et al.*, 2010). In this sense crop production through the provision of growth regulators and nutrients would be a favorable alternative because it increases the rates of yield and quality of crops (Sánchez-Chávez *et al.*, 2011). Since the application of growth regulators on tomato crops are stimulated considerably antioxidants and the production of ascorbic acid (El-Gaied *et al.*, 2013). Among the different bio-salicylic acid, which today has become very important as it provides a favorable effect on crop yields (Larque-Saavedra and Martin-Mex, 2007), of agricultural importance such as tomatoes (Anchondo-Aguilar *et al.*, 2011), and increases the content of °Brix (Chavez Suarez *et al.*, 2012), the concentration of phenols (Sánchez *et al.*, 2013) and antioxidants (Guzmán-Tellez *et al.*, 2015).

considerablemente los antioxidantes y la producción de ácido ascórbico (El-Gaied *et al.*, 2013). Entre los diferentes biorreguladores se encuentra el ácido salicílico, el cual en la actualidad ha adquirido gran importancia ya que propicia un efecto favorable en el rendimiento de los cultivos (Larqué-Saavedra y Martín-Mex, 2007), de importancia hortícola como el tomate (Anchondo-Aguilar *et al.*, 2011), e incrementa el contenido de °Brix (Chávez Suárez *et al.*, 2012), la concentración de fenoles (Sánchez *et al.*, 2013) y antioxidantes (Guzmán-Tellez *et al.*, 2015).

Bajo esta perspectiva, el objetivo del presente trabajo fue evaluar diferentes dosis de ácido salicílico en mezcla con solución nutritiva sobre el rendimiento y la calidad nutracéutica del fruto de tomate producido bajo condiciones de invernadero. La producción de tomate bajo condiciones de invernadero es una alternativa para incrementar la producción, en comparación con el tomate a campo abierto (Rodríguez-Dimas y García-Hernández, 2013). Por medio de los sistemas de producción de agricultura protegida se obtiene un mayor rendimiento y una mejora en la calidad de los productos, así como también un uso eficiente de fertilizantes (Ojodeagua *et al.*, 2008), y del agua (Segura-Castruita *et al.*, 2011).

Sin embargo para mantener una alta productividad de los cultivos bajo condiciones de invernadero, se tiene dependencia de un alto uso de productos agroquímicos (Preciado *et al.*, 2011), pero en los últimos años se ha propuesto el uso de moléculas de señalización como el ácido salicílico con el propósito de incrementar los rendimientos y una mejora en la calidad de los frutos (Herrera-Martínez *et al.*, 2013). Debido a que la población va en incremento por lo que es necesario identificar estrategias que permitan cubrir las demandas futuras de alimentos (Andrade, 1998) de igual manera hoy en día los comensales se preocupan por los componentes bioactivo o nutracéuticos que están presentes en los alimentos, debido a que estos propician una ayuda o previenen las enfermedades crónicas y degenerativas (Llacuna and Mach, 2012).

Así como también si generan efectos positivos para promover y restaurar las funciones fisiológicas del organismo humano (Méndez *et al.*, 2014). Ya que estas son las principales causas de muertes (Gómez, 2010). En este sentido la producción de cultivos por medio del suministro de reguladores de crecimiento y nutrientes

In this perspective, the objective of this study was to evaluate different doses of salicylic acid in admixture with nutrient solution on yield and fruit quality nutraceutical tomato produced under greenhouse conditions. The tomato production under greenhouse conditions is an alternative to increase production, compared to open field tomato (Rodríguez-Dimas and García-Hernández, 2013). Through production systems of protected agriculture is obtained increased performance and improved product quality, as well as efficient use of fertilizers (Ojodeagua *et al.*, 2008), and water (Segura-Castruita *et al.*, 2011).

However to maintain high productivity of crops under greenhouse conditions, we have dependence on a high use of agrochemicals (Preciado *et al.*, 2011), but in recent years has proposed the use of signaling molecules such as salicylic acid in order to increase yields and improved quality of the fruit (Herrera-Martínez *et al.*, 2013). Because the population is increasing so it is necessary to identify strategies to meet future food demands (Andrade, 1998) likewise today diners by bioactive components or nutraceuticals that are present in food care, because these are conducive help or prevent chronic and degenerative diseases (Llacuna and Mach, 2012).

And also if they generate positive effects to promote and restore the physiological functions of the human organism (Méndez *et al.*, 2014). Since these are the main causes of death (Gómez, 2010). In this sense crop production through the provision of growth regulators and nutrients would be a favorable alternative because it increases the rates of yield and quality of crops (Sánchez-Chávez *et al.*, 2011). Since the application of growth regulators on tomato crop is significantly stimulate the production of antioxidants and ascorbic acid (El-Gaied *et al.*, 2013).

Among the different bio-salicylic acid, which today has become very important as it provides a favorable effect on crop yields (Larqué-Saavedra and Martín-Mex, 2007), horticultural importance as the tomato (Anchondo-Aguilar *et al.*, 2011), and increases the content of °Brix (Chávez Suárez *et al.*, 2012), the concentration of phenols (Sánchez *et al.*, 2013) and antioxidants (Guzmán-Tellez *et al.*, 2015). In this perspective, the objective of this study was to evaluate different doses of salicylic acid in admixture with nutrient solution on yield and fruit quality nutraceutical tomato produced under greenhouse conditions.

sería una alternativa favorable ya que incrementa las tasas de rendimiento y la calidad de los cultivos (Sánchez-Chávez *et al.*, 2011). Ya que con la aplicación de reguladores del crecimiento en el cultivo de tomate se estimulan considerablemente los antioxidantes y la producción de ácido ascórbico (El-Gaied *et al.*, 2013).

Entre los diferentes biorreguladores se encuentra el ácido salicílico, el cual en la actualidad ha adquirido gran importancia ya que propicia un efecto favorable en el rendimiento de los cultivos (Larqué-Saavedra y Martín-Mex, 2007), de importancia hortícola como el tomate (Anchondo-Aguilar *et al.*, 2011), e incrementa el contenido de °Brix (Chávez Suárez *et al.*, 2012), la concentración de fenoles (Sánchez *et al.*, 2013) y antioxidantes (Guzmán-Tellez *et al.*, 2015). Bajo esta perspectiva, el objetivo del presente trabajo fue evaluar diferentes dosis de ácido salicílico en mezcla con solución nutritiva sobre el rendimiento y la calidad nutraceutica del fruto de tomate producido bajo condiciones de invernadero.

## Materiales y métodos

El estudio se estableció bajo condiciones de invernadero con enfriamiento automático, en el Instituto Tecnológico de Torreón, México, localizado entre los 24° 30' y 27° latitud norte, 102° 00' y 104° 40' longitud oeste, a una altitud de 1 120 m. El material vegetal que se utilizó fue tomate (*Solanum lycopersicom* L. cv. Aquila), esta planta es de tipo indeterminado (BHN Seed)<sup>®</sup>. Las plántulas fueron trasplantadas en macetas que consistieron de bolsas de polietileno negro calibre 500 de tipo vivero de 20 kg de capacidad. Las macetas fueron acomodadas en doble hilera, con un arreglo en tresbolillo y una separación entre hileras de 1.6 m, para obtener una densidad de cuatro plantas por metro cuadrado.

Seis concentraciones de AS (0, 0.025, 0.05, 0.1, 0.2 y 0.4 mM) fueron aplicadas, en un diseño experimental completamente al azar, donde cada concentración representó un tratamiento, con seis réplicas cada uno; de tal manera que se tuvieron un total de 36 unidades experimentales. Las dosis del AS fueron agregadas a las plantas justo al momento que se adicionó la solución nutritiva (Steiner, 1984), la cual se realizó cada 15 días a partir del trasplante y hasta la madurez fisiológica de la planta. Asimismo, tres riegos diarios fueron suministrados a las plantas mediante un sistema de riego

## Materials and methods

The study was established under greenhouse conditions with automatic cooling, at the Technological Institute of Torreón, Mexico, located between 24° 30' and 27° north latitude, 102° 00' and 104° 40' west longitude, at an altitude of 1 120 m. The plant material used was tomato (*Solanum lycopersicom* L. cv. Aquila), this plant is indeterminate (BHN Seed)<sup>®</sup>. The seedlings were transplanted into pots which consisted of black polyethylene bags 500 caliber type nursery 20 kg capacity. The pots were arranged in two rows, with an arrangement in staggered rows and row spacing of 1.6 m, to obtain a density of four plants per square meter.

The AS six concentrations (0, 0.025, 0.05, 0.1, 0.2 and 0.4 mM) were applied in a completely randomized experimental design, where each treatment concentration represented, with six replicates each; so that were taken a total of 36 experimental units. The doses were added to AS plants right moment the nutrient solution (Steiner, 1984), which was performed every 15 days from transplantation and to physiological maturity of the plant was added. In addition, three daily irrigations were supplied to the plants through a system of drip irrigation, so that each pot a day received 0.75 L from transplant to the beginning of flowering and 2.5 L of flowering to harvest. Moreover, the tomato plants to a single stem is guided, later mentorship raffia subject of the top of the greenhouse structure. The pollination was performed daily when the beginning of flowering presented until fruit set with an electric toothbrush. The response variables were yield and fruit quality nutraceutical.

The yield per plant was obtained by cutting, from first to fifth cluster, the fruits of plants of each treatment and corresponding reply, when the fruit presented a bright red. The quality was assessed in four fruits taken at random from each cluster by treatment and replication, measuring the weight of fruit, the polar and equatorial diameter; also, was obtained the content of total soluble solids (SST) or °Brix refractometer ATAGO (Master 2311). The content of total phenolic compounds was measured according to the Folin-Ciocalteu (Singleton *et al.*, 1999), total flavonoids were quantified according to the methodology described by Lamaison y Carnet (1990) and antioxidant capacity was measured according to the method in vitro DPPH<sup>+</sup> (Brand-Williams *et al.*, 1995). The results were subjected to analysis of variance and comparison of means by Tukey test ( $p \leq 0.05$ ).

por goteo, de tal manera que cada maceta al día recibió 0.75 L desde el trasplante hasta el inicio de la floración y de 2.5 L de la floración a la cosecha. Por otra parte, las plantas de tomate se guiaron a un solo tallo, para posteriormente tutorar con rafia sujeta de la parte superior de la estructura del invernadero. La polinización se realizó diariamente cuando se presentó el inicio de floración y hasta el amarre de frutos con un cepillo eléctrico. Las variables respuesta fueron el rendimiento y la calidad nutracéutica del fruto.

El rendimiento se obtuvo por planta al cortar, del primero al quinto racimo, los frutos de las plantas de cada tratamiento y réplica correspondiente, cuando el fruto presentó un color rojo intenso. La calidad se evaluó en cuatro frutos tomados al azar de cada racimo por tratamiento y réplica, midiéndose el peso de fruto, el diámetro polar y ecuatorial; asimismo, se obtuvo el contenido de sólidos solubles totales (SST) o °Brix con el refractómetro ATAGO (Master 2311). El contenido de compuestos fenólicos totales se midió de acuerdo al método de Folin-Ciocalteu (Singleton *et al.*, 1999), los flavonoides totales se cuantificaron de acuerdo a la metodología descrita por Lamaison y Carnet (1990) y la capacidad antioxidante se midió de acuerdo al método *in vitro* DPPH<sup>+</sup> (Brand-Williams *et al.*, 1995). Los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza y comparación de medias mediante la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

## Resultados y discusión

### Rendimiento

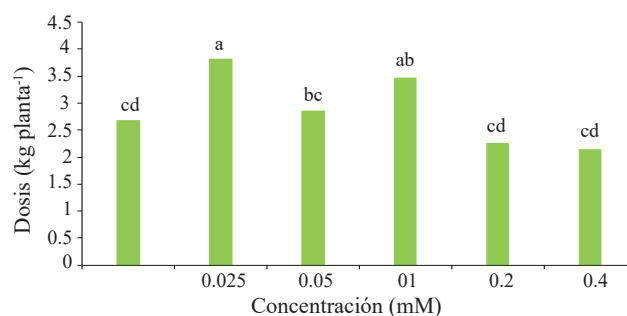
El AS afectó significativamente ( $p \leq 0.05$ ) el rendimiento de tomate, siendo las dosis de 0.025 y 0.1 mM, las que mostraron mayores rendimientos (Figura 1), superando en 30 y 23%, respectivamente, a la solución Steiner (0 mM de AS); a diferencia de las plantas que recibieron dosis altas de AS (0.2 y 0.4 mM) que disminuyó el rendimiento 43 y 39% en comparación con las que recibieron dosis bajas. Este comportamiento se ha reportado en la literatura, dosis altas de AS disminuyen el rendimiento de los cultivos, debido a que causan un estrés oxidativo, que la planta es incapaz de restaurar (Hayat *et al.*, 2010). En cambio, bajas concentraciones inducen un aumento del rendimiento (González y Sánchez, 2014), como lo reportan Sánchez-Chávez *et al* (2011) quienes concluyeron que la concentración de AS de 0.1 mM, incrementa el rendimiento

## Results and discussion

### Performance

The AS significantly affect ( $p \leq 0.05$ ) the tomato yield, with doses of 0.025 and 0.1 mM, which showed higher yields (Figure 1), exceeding by 30 and 23%, respectively, to the Steiner solution (0 mM of AS); unlike plants receiving high doses of AS (0.2 and 0.4 mM) decreased performance 43 and 39% compared to those receiving lower doses. This behavior has been reported in the literature, high doses of AS decrease yields, because they cause oxidative stress, the plant is unable to restore (Hayat *et al.*, 2010).

However, low concentrations induce an increase in performance (Gonzalez and Sanchez, 2014), as reported by Sánchez-Chávez *et al* (2011) who concluded that the concentration of AS of 0.1 mM, increases the yield of jalapeno pepper. This can be explained because the AS to be a signaling molecule and safe (Mora-Herrera *et al.*, 2011), acts as a growth regulator that accelerates cell division and increases crop yields (Botta-Ferret *et al.*, 2012).



**Figura 1. Rendimiento promedio de tomate por efecto de dosis crecientes de ácido salicílico en la solución nutritiva.**  
**Figure 1. Average yield of tomato effect of increasing doses of salicylic acid in the nutrient solution.**

This means that low doses of AS in the Nutrient Solution, significantly favoring performance in tomato crop; besides make efficient use of the nutrient solution, since it is not necessary to increase the nutrient concentration in this solution, this represents a saving by not modifying the quantities of fertilizers used in the preparation thereof and contributes to environmental protection.

de chile jalapeño. Lo anterior puede explicarse porque el AS al ser una molécula de señalización e inocua (Mora-Herrera *et al.*, 2011), actúa como un regulador del crecimiento que acelera la división celular e incrementa el rendimiento de los cultivos (Botta-Ferret *et al.*, 2012).

Esto significa que dosis bajas de AS en la Solución Nutritiva, favorecen significativamente el rendimiento en el cultivo de tomate; además de hacer eficiente el uso de la solución nutritiva, ya que no es necesario el incremento en la concentración de nutrientes en esta solución, esto representa un ahorro al no modificar las cantidades de los fertilizantes que se utilizan en la elaboración de la misma y se contribuye a la protección del ambiente.

### Calidad de fruto

Las diferentes dosis de AS aplicados al cultivo de tomate afectaron la calidad del fruto (Cuadro 1;  $p \leq 0.05$ ); la dosis alta de AS (0.4 mM) promovió la producción de frutos chicos, mientras que el resto de los tratamientos mostraron frutos medianos, de acuerdo a la clasificación en tamaño de frutos de tomate de la SAGARPA-ASERCA (2008). Resultados similares son reportadas por Larqué-Saavedra *et al.* (2010) al mencionar que dosis altas de AS generan un estrés oxidativo en las plantas, lo que trae como consecuencia una marcada disminución en el número y tamaño de frutos de las plantas. Por otra parte, AS promovió mayor la firmeza de los frutos. En este sentido, Shafiee *et al.* (2010) indicaron que el AS disminuye el ablandamiento de los frutos; ya que el AS provoca una menor producción de etileno

### Fruit quality

The different doses of AS applied to the tomato crop affected fruit quality (Table 1;  $p \leq 0.05$ ); the AS high dose (0.4 mM) promoted the production of fruits boys, while the other treatments showed medium fruits, according to the classification of tomato fruit size of the SAGARPA-ASERCA (2008). Similar results are reported by Larqué-Saavedra *et al.* (2010) to mention that high doses of AS generate oxidative stress in plants, which results in a marked decrease in the number and size of fruits of planrtas. Moreover, AS promoted greater firmness of the fruit. In this regard, Shafiee *et al.* (2010) indicated that the AS decreases fruit softening; since the AS causes decreased production of ethylene (Wang *et al.*, 2011; Kant and Arora, 2014), inhibiting the action of enzymes responsible for the degradation of the cell wall (Asghari and Aghdam, 2010; Valero and Serrano, 2010), which allows maintaining the integrity of cell walls and membranes longer (Quintero *et al.*, 2013), delaying fruit ripening (Valero *et al.*, 2013).

The increases of AS resulted in a significant increase in the accumulation of SST in fruits (Table 1). Similar results were reported by Srivastava and Dwivedi (2000) and Mirdehghan and Ghotbi (2014) who found a greater amount of SST in fruits treated with AS, than those who were not exposed to AS. Chen *et al.* (2016) indicated that the increase in SST in the fruits can be attributed to the AS increases the photosynthetic activity and hence increased availability of translocation of photoassimilated the fruits (Ahmad *et al.*, 2013), increasing the SST.

**Cuadro 1. Peso, tamaño, firmeza y sólidos solubles totales (SST) en frutos de tomate por efecto de ácido salicílico en la solución nutritiva.**

**Table 1. Weight, size, firmness and total soluble solids (SST) in tomato fruits effect of salicylic acid in the nutrient solution.**

| Ácido salicílico<br>(mM) | Peso de fruto<br>(g) | Número de frutos<br>(Núm.) | Diámetro ecuatorial<br>(mm) | Firmeza<br>(N) | SST<br>(°Brix) |
|--------------------------|----------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------|----------------|
| 0                        | 130.8                | 22.8 ab                    | 45 ab                       | 8.95 b         | 4 c            |
| 0.025                    | 132.5                | 29.5 a                     | 50.31 ab                    | 10.72 ab       | 4.21 c         |
| 0.05                     | 165.2                | 18.5 b                     | 47.62 ab                    | 11.18 ab       | 4.9 b          |
| 0.1                      | 175.9                | 21.1 ab                    | 48.36 ab                    | 10.43 ab       | 5.35 ab        |
| 0.2                      | 125.1                | 18.5 b                     | 55.4 a                      | 12.25 a        | 5.53 a         |
| 0.4                      | 118.3                | 18.1 b                     | 34.44 b                     | 10.56 ab       | 5.75 a         |

Valores con letras iguales en cada columna, son iguales de acuerdo con la prueba Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

(Wang *et al.*, 2011; Kant y Arora, 2014), inhibiendo la acción de las enzimas responsables de la degradación de la pared celular (Asghari y Aghdam, 2010; Valero y Serrano, 2010), lo que permite mantener la integridad de las membranas y paredes celulares por más tiempo (Quintero *et al.*, 2013), retardando la maduración de los frutos (Valero *et al.*, 2013).

Los incrementos de AS provocaron un aumento significativo en la acumulación de los SST en frutos (Cuadro 1). Resultados similares fueron reportados por Srivastava y Dwivedi (2000) y Mirdehghan y Ghotbi (2014) quienes encontraron una mayor cantidad de SST en frutos tratados con AS, que aquellos que no fueron expuestos al AS. Chen *et al.* (2016) indicaron que el incremento en SST en los frutos puede atribuirse a que el AS incrementa la actividad fotosintética y por ende a una mayor disponibilidad de translocación de fotoasimilados al frutos (Ahmad *et al.*, 2013), lo que incrementa los SST.

Calidad nutraceutica de frutos

La calidad nutraceutica de los frutos (fenoles, flavonoides y capacidad antioxidante; Cuadro 2) fue afectada por el AS ( $p \leq 0.05$ ). Se obtuvo mayores valores con 0.2 y 0.4 mM de AS. Resultados similares fueron reportados por Guzmán-Téllez *et al.* (2015) quienes indicaron el AS incrementa el contenido de compuestos fitoquímicos en frutos; ya que dosis adecuadas de AS activan el metabolismo secundario e incrementan la síntesis de antioxidantes totales (Larqué-Saavedra *et al.*, 2010; Mora-Herrera *et al.*, 2011).

Del mismo modo, las aplicaciones de AS propician un incremento en la concentración de fenoles y flavonoides (Sánchez *et al.*, 2013), debido a que el AS genera un estrés bioquímico en la suspensiones celulares y tejidos de la plantas propiciando un incremento en los metabolitos secundarios (Piñeros-Castro *et al.*, 2009), de tal manera que se le atribuye que regula la biosíntesis de metabolitos secundarios (Villanueva-Couoh *et al.*, 2009), como son los compuestos fenólicos (Ávalos y Pérez, 2011) y flavonoides (El-Gaied *et al.*, 2013). Los resultados de nuestra investigación son consistentes con lo reportado en la literatura, lo que significa que el AS tiene efectos positivos en la calidad nutraceutica de los frutos, por lo que el uso de AS en la producción de tomate de calidad puede ser adecuada.

Nutraceutical fruit quality

The nutraceutical fruit quality (phenols, flavonoids and antioxidant capacity; Table 2) was affected by AS ( $p \leq 0.05$ ). With higher values of 0.2 and 0.4 mM of AS was obtained. Similar results were reported by Guzmán-Téllez *et al.* (2015) who indicated the AS increases the content of phytochemicals in fruits; because adequate doses of AS activate the secondary metabolism and increase the synthesis of total antioxidants (Larqué-Saavedra *et al.*, 2010; Mora-Herrera *et al.*, 2011).

Similarly, applications AS foster an increase in the concentration of phenols and flavonoids (Sanchez *et al.*, 2013), because the AS generates a biochemical stress in cell suspensions and tissues of plants encouraging an increase in secondary metabolites (Piñeros-Castro *et al.*, 2009), so attached to it that regulates the biosynthesis of secondary metabolites (Villanueva-Couoh *et al.*, 2009), such as phenolic compounds (Avalos y Pérez, 2011) and flavonoids (El-Gaied *et al.*, 2013). The results of our research are consistent with those reported in the literature, which means that the AS has positive effects on fruit quality nutraceutical, so the use of AS in tomato production quality may be adequate.

Cuadro 2. Calidad nutraceutica de frutos de tomate por efecto de ácido salicílico en la solución nutritiva.  
Table 2. Nutraceutical quality tomato fruits effect of salicylic acid in the nutrient solution.

| Ácido salicílico (mM) | Fenoles totales (mg AGE/100 g peso fresco) | Flavonoides (mg QE/100 g peso fresco) | Capacidad antioxidante (µM equiv. Trolox/100 g peso fresco) |
|-----------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 0                     | 63.1 d                                     | 22.85d                                | 44.32 d                                                     |
| 0.025                 | 79.9 c                                     | 35.29cd                               | 144.32 c                                                    |
| 0.05                  | 81.3 bc                                    | 53.62cb                               | 193.74b                                                     |
| 0.1                   | 85.72 bc                                   | 61.59ab                               | 202.22b                                                     |
| 0.2                   | 88.48 ab                                   | 71.31ab                               | 246.95a                                                     |
| 0.4                   | 92.16 a                                    | 82.31a                                | 263.62a                                                     |

Valores con letras iguales en cada columna, son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

## Conclusiones

La aplicación de ácido salicílico en la solución nutritiva incrementó el rendimiento y calidad nutraceutica de los frutos de tomate producidos en condiciones de invernadero. Dosis bajas de ácido salicílico (0.02 mM) incrementaron el rendimiento por planta, en cambio dosis altas lo disminuyen 43%, pero se mejoraron la calidad nutraceutica de los frutos. El uso del ácido salicílico es una alternativa viable para incrementar la producción y enriquecer la calidad nutraceutica de frutos de tomate.

## Literatura citada

- Adalid, A. A.; Roselló, S. and Nuez, F. 2010. Evaluation and selection of tomato accessions (*Solanum section lycopersicon*) for content of lycopene, b-carotene and ascorbic acid. *J Food Compos Anal.* 23:613-618.
- Ahmad, S.; Singh, Z.; Khan, A. S. and Iqbal, Z. 2013. Pre-harvest application of salicylic acid maintain the rind textural properties and reduce fruit rot and chilling injury of sweet orange during cold storage. *Pak. J. Agric. Sci.* 50:559-569.
- Asghari, M. and Aghdam, M. S. 2010. Impact of salicylic acid on post-harvest physiology of horticultural crops. *Trends Food Sci. Technol.* 21:502-509.
- Ávalos- García, A. y Pérez-Urria, C. E. 2011. Metabolismo secundario de plantas. *Reduca (biología).* 2:119-145.
- Botta-Ferret, E.; Almaguel- Rojas, L.; Franco- Domínguez, I. and Díaz- Finalé, Y. 2012. Evaluación de la acción de diferentes fitorreguladores sobre las poblaciones de *Stenotaphrum spinki* Smiley en dos variedades comerciales de arroz. *Fitosanidad.* 12:109-116.
- Brand-Williams, W.; Cuvelier, M.-E. and Berset, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology.* 28:25-30.
- Chen, Y. E.; Cui, J. M.; Li, G. X.; Yuan, M.; Zhang, Z. W.; Yuan, S. and Zhang, H. Y. 2016. Effect of salicylic acid on the antioxidant system and photosystem II in wheat seedlings. *Biol. Plantarum.* 60:139-147.
- El-Gaied, L. F.; Abu El-Heba, G. A. and El-Sherif, N. A. 2013. Effect of growth hormones on some antioxidant parameters and gene expression in tomato. *GM Crops Food.* 4:67-73.
- Enríquez del Valle, J. R.; Carrillo-Castañeda, G.; Sánchez- García, P.; Rodríguez-Mendoza, M. N. y Mendoza-Castillo, M. C. 2001. Efecto de los ácidos acetilsalicílico e indolbutírico en el enraizamiento in vitro y rendimiento de tomate. *Rev. Fitotéc. Mex.* 24:71-78.
- Gómez, L.; Rodríguez, M. G.; Enrique, R.; Miranda, I. and González, E. 2009. Factores limitantes de los rendimientos y calidad de las cosechas en la producción protegida de hortalizas en Cuba. *Rev. Protec. Veg.* 24:117-122.

## Conclusion

The application of salicylic acid in the nutrient solution increased performance and nutraceutical quality of tomato fruits produced under greenhouse conditions. Low doses of salicylic acid (0.02 mM) increased the yield per plant, at high doses it change decrease 43%, but the nutraceutical fruit quality were improved. The use of salicylic acid is a viable alternative way to increase production and enrich the nutraceutical quality of tomato fruits.

*End of the English version*



- González-Huerta, A. y Sánchez, E. U. 2014. Producción de flores de *Gerbera jamesonii* cv. 'Dream' en función de los ácidos giberélico y salicílico. *Rev. Int. Bot. Exp.* 83:333-340.
- Gruda N. 2009. Do soilless culture systems have an influence on product quality of vegetables? *J. Appl. Bot. Food Qual.* 82:141-147.
- Guzmán-Antonio, A.; Borges-Gómez, L.; Pinzón-López, L.; Ruiz-Sánchez, E. y Zúñiga-Aguilar, J. 2012. Efecto del ácido salicílico y la nutrición mineral sobre la calidad de plántulas de chile habanero. *Agron. Mesoam.* 23:247-257.
- Guzmán-Téllez, E.; Benavides-Mendoza, A.; Flores-Olivas, A.; Cabrera-De la Fuente, M. and Díaz-Montenegro, D. 2015. Residuality of exogenous salicylic acid and effect on catalase activity and total antioxidant capacity in tomato leaves. *Afr. J. Agric. Res.* 10:3893-3900.
- Hayat, Q.; Hayat, S.; Irfan, M. and Ahmad, A. 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: a review. *Environ. Exp. Bot.* 68:14-25.
- Hayat, S.; Ali, B. and Ahmad, A. 2007. Salicylic acid: biosynthesis, metabolism and physiological role in plants. *In: Hayat, S. and Ahmad, A. (Eds.). Salicylic acid a plant hormone.* Springer. Dordrecht, The Netherlands. 401 p.
- Kant, K. and Arora, A. 2014. Effects of salicylic acid on postharvest physiology of tomato. *Ind. J. Hort.* 71:247-252.
- Khalili, M.; Hasanloo, T.; Kazemi, T. S. and Sepehrifar, R. 2010. Effect of salicylic acid on antioxidant activity in Milk thistle hairy root cultures. *J. Med. Plants.* 3:51-60.
- Khandaker, L.; Masum, A. A. and Oba, S. 2011. Foliar application of salicylic acid improved the growth, yield and leaf's bioactive compounds in red amaranth (*Amaranthus tricolor* L.). *Veg. Crops Res. Bulletin.* 74:77-86.
- Larqué-Saavedra, A.; Martín-Mex, R.; Nexticapan-Garcéz, A.; Vergara-Yoisura, S. and Gutiérrez-Rendón, M. 2010. Efecto del ácido salicílico en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Rev. Chapingo Ser. Hort.* 16:183-187.
- Larqué-Saavedra, A. and Martín-Mex, R. 2007. Effects of salicylic acid on the bioproductivity of plants. *In: Hayat, S. and Ahmad, A. (Eds.). Salicylic acid a plant hormone.* Springer. Dordrecht, The Netherlands. 401 p.

- López-Elías, J.; Rodríguez, J. C.; Huez, M. A.; Garza, S.; Jiménez, J. and Leyva, E. I. 2011. Producción y calidad de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo condiciones de invernadero. *Idesia*. 29:21-27.
- Martínez, R. H.; Benítez, A. L.; Velázquez, J. E.; Aspeya, D. S.; Méndez, C. A. R.; Rojas, G. J. A. and Melgoza, F. A. G. 2016. Potencial genético y heterosis para rendimiento en líneas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 7:349-362.
- Martínez-Valverde, I.; Periago, M. J.; Provan, G. and Chesson, A. 2002. Phenolic compounds, lycopene and antioxidant activity in comercial cultivars of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *J. Sci. Food Agri* 82: 323-330.
- Mirdehghan, S. H. and Ghotbi, F. 2014. Effects of salicylic acid, jasmonic acid, and calcium chloride on reducing chilling injury of pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit. *J. Agric. Sci. Technol.* 16:163-173.
- Mora-Herrera, M. E.; Peralta-Velázquez, J.; López-Delgado, H. A.; García-Velasco, R. and González-Díaz, J. G. 2011. Efecto del ácido ascórbico sobre crecimiento, pigmentos fotosintéticos y actividad peroxidasa en plantas de crisantemo. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 17:73-81.
- Piñeros-Castro, Y.; Otálvaro-Álvarez, Á. and Velásquez-Lozano, M. 2009. Efecto de la aplicación de elicitores sobre la producción de 4β-hidroxiwithanolido E, en raíces transformadas de *Physalis peruviana* L. *Universitas Scientiarum* 14:23-28.
- Quintero, G. V.; Herrera, J. Á. and Sanabria, O. A. 2013. Efecto de la aplicación de giberelinas y 6-bencilaminopurina en la producción y calidad de fresa (*Fragaria x Ananassa* Duch.). *Bioagro* 25:195-200.
- Ramírez, H. Rancano-Arriola, J. H.; Benavides-Mendoza, A. Mendoza-Villarreal, R. y Padrón-Corral, E. 2006. Influencia de promotores de oxidación controlada en hortalizas y su relación con antioxidantes. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 12:189-195.
- Rodríguez-Larramendi, L.; Matos, Y.; Santos, P. e Infante, S. 2008. Crecimiento, floración y fructificación en plantas de tomate (*Lycompersicom esculentum* L. var. Vyta) provenientes de semillas tratadas con ácido salicílico. *Centro Agrícola*. 35:29-34.
- Sánchez, G. R.; Mercado, E. C. de la Cruz, H. R. and Pineda, E. G. 2013. El ácido salicílico y su participación en la resistencia a patógenos en plantas. *Revista de la DES Ciencias Biológico Agropecuarias*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 12:90-95.
- Sánchez-Chávez, E.; Barrera-Tovar, R.; Muñoz-Márquez, E.; and Ojeda-Barrios, D. L. 2011. Efecto del ácido salicílico sobre biomasa, actividad fotosintética, contenido nutricional y productividad del chile jalapeño. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 17:63-68.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA)- Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria (ASERCA) 2008. Pliego de condiciones para el uso de la marca oficial México Calidad Suprema en tomate. *BANCOMEXT. ASERCA*. PC-020-2005.
- Shafiee, M.; Taghavi, T. S. and Babalar, M. 2010. Addition of salicylic acid to nutrient solution combined with postharvest treatments (hot water, salicylic acid, and calcium dipping) improved postharvest fruit quality of strawberry. *Sci. Hortic.* 124:40-45.
- Singleton, V. L.; Orthofer, R. and Lamuela-Raventos, R. M. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods Enzymol.* 299:152-178.
- Lamaison, J. L. C. and Carnet, A. 1990. Contents in main flavonoid compounds of *Crataegus monogyna* Jacq. and *Crataegus laevigata* (Poir.) D. C. flowers at different development stages. *Pharmaceutica Acta Helvetica*. 65:315-320.
- Srivastava, M. K. and Dwivedi, U. N. 2000. Delayed ripening of banana fruit by salicylic acid. *Plant Sci.* 158:87-96.
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. *Proceedings 6<sup>th</sup>. International Congress on Soilless Culture*. ISOSC. Lunteren, Netherlands. 633-649 p.
- Valero, D. and Serrano, M. 2010. Postharvest biology and technology for preserving fruit quality. *CRC-Taylor & Francis*, Boca Raton, FL, USA. 435 pp.
- Valero, D.; Castillo, S.; Díaz, M.; Huertas, M.; Martínez, R. D.; Serrano, M.; Valverde, J. M. y Zapata, P. 2013. Un nuevo tratamiento post-recolección con ácido salicílico que mantiene la calidad de las ciruelas "Angeleno". *Horticultura*. 309:76-81.
- Villanueva-Couoh, E.; Alcántar-González, G.; Sánchez-García, P.; Soria-Fregoso, M. y Larqué-Saavedra, A. 2009. Efecto del ácido salicílico y dimetilsulfóxido en la floración de [*Chrysanthemum morifolium* (Ramat) *Kitamura*] en Yucatán. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 15:25-31.
- Wang, Y. Y.; Li, B. Q.; Qin, G. Z.; Li, L. and Tian, S. P. 2011. Defense response of tomato fruit at different maturity stages to salicylic acid and ethephon. *Sci. Hortic.* 129:183-188.
- Xu, M.; Dong, J.; Wang, H. and Huang, L. 2009. Complementary action of jasmonic acid on salicylic acid in mediating fungal elicitor-induced flavonol glycoside accumulation of *Ginkgo biloba* cells. *Plant Cell Environ.* 32:960-967.