

## Fertilización foliar en el rendimiento y calidad de tomate en hidroponía bajo invernadero\*

### Foliar fertilization on yield and quality of tomato in hydroponics under greenhouse

Horacio Adolfo Pérez Espinoza<sup>1</sup>, Jesús Chávez Morales<sup>1§</sup>, Guillermo Carrillo Flores<sup>1</sup>, María de las Nieves Rodríguez Mendoza<sup>1</sup> y Roberto Ascencio Hernández<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco, km 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. Tel. 08 98 92 39, ext. 8978. (perez.horacio@colpos.mx; chavezje@colpos.mx; gflores@colpos.mx; marinie@colpos.mx; ascenciohr@colpos.mx). §Autor para correspondencia: chavezje@colpos.mx.

#### Resumen

El rendimiento y calidad en la producción de tomate es de suma importancia para los productores que se dedican a esta actividad. El objetivo de esta investigación fue el estudio del efecto de fertilizantes foliares en el incremento del rendimiento y parámetros de calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill.) en condiciones de hidroponía bajo invernadero. Durante 2015, se realizó un experimento en un invernadero del Posgrado en Hidrociencias del Colegio de Postgraduados- Campus Montecillo bajo un diseño bifactorial con dos híbridos de tomate indeterminado tipo Saladette “Cid” y “Azhura” y tres fertilizantes foliares comerciales foligral<sup>®</sup>, nutri K-80<sup>®</sup> y nutri humus<sup>®</sup> y un testigo. Así se generaron ocho tratamientos con cuatro repeticiones. El sistema de riego fue por goteo para fertirrigación con solución Steiner a una conductividad máxima de 2.5 dS m<sup>-1</sup>. Se cuantificó el consumo hídrico durante el ciclo de cultivo, se evaluaron el rendimiento total y algunas variables de calidad como: el contenido de sólidos solubles (°Brix), licopeno y potasio en fruto. El consumo hídrico estimado en el experimento fue alto y la eficiencia del uso del agua fue baja. No se presentaron diferencias significativas entre los dos genotipos evaluados; sin embargo, la aplicación

#### Abstract

The yield and quality in the production of tomatoes is of paramount importance for the producers that dedicate themselves to this activity. The aim of this research was to study the effect of foliar fertilizers on increasing yield and quality parameters of tomato (*Solanum lycopersicum* Mill.) under hydroponics in greenhouses. During 2015, an experiment was carried out in a greenhouse of the Posgraduate in Hydrosociences of the College of Postgraduates-Montecillo Campus under a bifactorial design with two indeterminate tomatoes type Saladette “Cid” and “Azhura” and three commercial leaf fertilizers foligral<sup>®</sup>, nutri K-80<sup>®</sup> and nutri humus<sup>®</sup> and a witness. Thus eight treatments were generated with four replicates. The irrigation system was drip fertigation with Steiner solution for a maximum conductivity of 2.5 dS m<sup>-1</sup>. The water consumption was quantified during the growing cycle, the total yield and some quality variables were evaluated as the content of soluble solids (°Brix), lycopene and potassium in fruit. The water consumption estimated in the experiment was high and the water use efficiency was low. There were no significant differences between the two genotypes evaluated; however, the application of foliar fertilizers

\* Recibido: enero de 2017  
Aceptado: marzo de 2017

de fertilizantes foliares produjo diferencias altamente significativas en los parámetros evaluados; indicando que los fertilizantes foliares estudiados con mayor contenido de  $K^+$ , tienen un efecto importante en el incremento de: rendimiento, sólidos solubles, licopeno y potasio en fruto.

**Palabras claves:** *Solanum lycopersicum* Mill., Licopeno, potasio en fruto, sólidos solubles.

## Introducción

El cultivo de tomate es una hortaliza que se cultiva en grandes extensiones, de las cuales se obtienen importantes volúmenes de producción y que además participa de manera importante en la economía internacional, aspecto que no podría lograrse sin calidad del fruto; lograda en gran forma mediante la correcta nutrición y en particular por la aplicación de fuentes potásicas al cultivo. En el año 2013 se generó un valor de \$8 803 millones de dólares en el comercio internacional de tomate; mismo del que México participó con 46.7% siendo el máximo exportador en dicho año. Por otro lado, Estados Unidos importó 1 537 403 t, siendo el principal importador (FAOSTAT, 2013a).

En consumo per cápita, Estados Unidos de América alcanza hasta 45.8 kg, mientras que México llega a 14.2 kg; sin embargo, si se toma en cuenta el rendimiento, México tiene un rendimiento promedio de 38 t ha<sup>-1</sup>; es decir, 92% menos que el que obtienen Países Bajos, donde alcanzan 484 t ha<sup>-1</sup> según FAOSTAT (2013b). La alta demanda del producto a nivel mundial representa una oportunidad para los productores de tomate; sin embargo, es imprescindible mejorar las técnicas de cultivo para obtener mejores rendimientos.

La calidad en la producción de tomate es un factor determinante del precio y aceptación en el mercado, de modo que para el tomate fresco se valora el sabor, aroma y textura. Es importante mencionar que las variaciones que existen entre calidades en frutos de tomate se deben a muchos factores como: el sistema de producción respecto a hidroponía y suelo, Arana *et al.* (2006); Casierra y Aguilar (2008); el genotipo, Hernández *et al.* (2013); López *et al.* (2015); la dosis en la nutrición potásica, Bugarín *et al.* (2002a); Ramírez *et al.* (2011); la forma orgánica o mineral de fertilización, Cano *et al.* (2004); Rodríguez *et al.* (2009); Márquez *et al.* (2013); las aplicaciones foliares

produced highly significant differences in the evaluated parameters; indicating that studied foliar fertilizers with a higher content of  $K^+$  have a significant effect on increasing: yield, soluble solids, lycopene and potassium fruit.

**Keywords:** *Solanum lycopersicum* Mill., Lycopene, potassium fruit, soluble solids.

## Introduction

The cultivation of tomatoes is a vegetable cultivated in large tracts, of which they obtain important volumes of production and that also participates of important way in the international economy, aspect that could not be obtained without quality of the fruit; achieved in great form through proper nutrition and in particular by the application of potassium sources to the crop. In the year 2013 a value of \$8 803 million was generated in the international trade of tomato; of which Mexico participated with 46.7% being the maximum exporter in that year. On the other hand, the United States imported 1 537 403 t, being the main importer (FAOSTAT, 2013a).

In per capita consumption, the United States of America reaches up to 45.8 kg, while Mexico reaches 14.2 kg; however, if one takes into account profitability, Mexico has an average yield of 38 t ha<sup>-1</sup>; ie 92% less than that obtained Netherlands, where they reach 484 t ha<sup>-1</sup> according FAOSTAT (2013b). The high demand of the product worldwide represents an opportunity for tomato producers, however it is imperative to improve cultivation techniques to obtain better yields.

The quality of tomato production is a determinant of price and acceptance in the market, so that fresh tomato is valued for flavor, aroma and texture. It is important to note that variations between quality in tomato fruits are due to many factors such as: the production system regarding hydroponics and soil, Arana *et al.* (2006); Casierra and Aguilar (2008); genotype, Hernández *et al.* (2013); López *et al.* (2015), the dose in the potassium nutrition, Bugarín *et al.* (2002a); Ramírez *et al.* (2011); the organically or mineral fertilizer, Cano *et al.* (2004); Rodríguez *et al.* (2009); Márquez *et al.* (2013); foliar applications of organic compounds, Arteaga *et al.* (2006); Terry and Ruiz (2010); climate regarding planting season, Gaspar *et al.* (2012); irrigation, Fortes *et al.* (2013),

de compuestos orgánicos, Arteaga *et al.* (2006); Terry y Ruiz (2010; el clima respecto a temporada de siembra, Gaspar *et al.* (2012), el riego, Fortes *et al.* (2013), el manejo postcosecha, Gómez y Camelo (2002) e incluso los recubrimientos al fruto Amaya *et al.* (2009). De igual manera es importante el contenido de licopeno en fruto de tomate debido a que es un carotenoide que por su capacidad antioxidante protege a las células de la oxidación por los radicales libres presentes en el organismo, lo que ayuda a prevenir enfermedades como el cáncer, problemas cardiovasculares y envejecimiento acelerado (Ordoñez *et al.*, 2009). El objetivo de la presente investigación fue cuantificar la aplicación de fertilizantes foliares en dos genotipos de tomate tipo Saladette para incrementar parámetros de rendimiento y calidad como licopeno, sólidos solubles (TSS), acidez titulable, pH del fruto y potasio en fruto, en hidroponía bajo invernadero.

## Materiales y metodos

El presente trabajo se realizó en un invernadero del Postgrado en Hidrociencias del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México y se localiza a una latitud norte de 19° 21', longitud oeste 98° 54' y altitud 2 240 msnm durante el periodo primavera-verano 2015. En un invernadero de tipo cenital con cubierta de polietileno en una superficie de 180 m<sup>2</sup> (9 \* 20 m).

Se utilizó un termohigrómetro para determinar la temperatura promedio, la cual fue de 23 °C con variaciones entre los 8 y 44 °C. El mismo instrumento permitió determinar la humedad relativa, registrándose valores entre el 17 y 97%. Dichos valores máximos y mínimos, en el caso de la temperatura frecuentemente ocurrieron entre las 2:00 y 4:00 pm y la 1:00 y 7:00 am, respectivamente; sin embargo, para la humedad relativa se presentaron de manera inversa; la máxima en las primeras horas del día y la mínima por la tarde. El cultivo se estableció en macetas de bolsas de polietileno de color negro de 35 centímetros de diámetro por 35 centímetros de largo, mismas que se llenaron con tezontle como sustrato con una granulometría menor de 8 mm de diámetro.

El sistema de riego utilizado fue por goteo automatizado, entre planta y planta se colocó un gotero autocompensado cuyo gasto es de 3 L h<sup>-1</sup> unido a un distribuidor de cuatro

postharvest handling, Gómez and Camelo (2002) and even fruit coatings Amaya *et al.* (2009). Likewise, the content of lycopene in tomato fruit is important because it is a carotenoid that, because of its antioxidant capacity, protects cells from oxidation by the free radicals present in the body, which helps prevent diseases such as cancer, cardiovascular problems and accelerated aging (Ordoñez *et al.*, 2009). The objective of the present investigation was to quantify the application of foliar fertilizers in two Saladette tomato genotypes to increase yield and quality parameters such as lycopene, soluble solids (TSS), titratable acidity, fruit and potassium pH in fruit, under hydroponics greenhouse.

## Materials and methods

The present work was carried out in a postgraduate greenhouse of the College of Postgraduates Campus Montecillo, Texcoco, State of Mexico and is located at a latitude north of 19° 21', longitude 98° 54' west and altitude 2 240 meters during the spring-summer period 2015. In a greenhouse overhead type with polyethylene cover an area of 180 m<sup>2</sup> (9 \* 20 m).

A thermohygrometer was used to determine the average temperature, which was 23 °C with variations between 8 and 44 °C. The same instrument allowed to determine the relative humidity, registering values between 17 and 97%. These maximum and minimum values, in the case of the temperature frequently occurred between 2:00 and 4:00 pm and 1:00 and 7:00 am, respectively; however, for the relative humidity were presented inversely; the maximum in the early hours of the day and the minimum in the afternoon. The culture was established in polyethylene bags of black color 35 centimeters in diameter by 35 centimeters in length, which were filled with tezontle as a substrate with a particle size smaller than 8 mm in diameter.

The irrigation system was automated drip between plant and plant a self compensating dropper whose spending is 3 L h<sup>-1</sup> attached to a distributor placed four outputs; of which two were placed in each plant so that the expenditure per minute of irrigation was 25 ml per plant.

The indeterminate tomato hybrids Saladette type Azhura and Cid were used, the first with tolerant to black spot tomato and fusarium caused by *Pseudomonas syringae* and

salidas; de las cuales se colocaron dos en cada planta de modo tal que el gasto por minuto de riego fue de 25 ml por planta.

Se utilizaron los híbridos indeterminados de tomate tipo Saladette: Azhura y Cid, el primero con tolerancia a mancha negra del tomate y fusarium causadas por *Pseudomonas syringae* y *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici* raza 1 y 2. El segundo de alta resistencia a *verticilosis*, *fusarium*, agallas radiculares y mosaico del tomate ocasionados por *Verticillium albo-atrum* V. Dahlie, *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici* raza 1 y 2, *Meloidogyne arenaria*, *M. incognita* y *M. javanica* y virus mosaico del tomate.

Se seleccionaron tres fertilizantes foliares: foligral<sup>®</sup>, nutri K-80<sup>®</sup> y nutri humus<sup>®</sup>, que son productos comerciales en el mercado, recomendados para cultivos hortícolas como el tomate y que incrementan calidad y rendimiento del mismo. La solución nutritiva para fertirrigación que se utilizó está basada en Steiner (1981), la cual se usa comercial y experimentalmente debido a la efectividad de la misma de acuerdo con la CE aplicada. La formulación fue Ca (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 4H<sub>2</sub>O (9 meq L<sup>-1</sup>), KNO<sub>3</sub> (3 meq L<sup>-1</sup>) K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (3 meq L<sup>-1</sup>), MgSO<sub>4</sub> 5H<sub>2</sub>O (4 meq L<sup>-1</sup>) y KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (4 meq L<sup>-1</sup>) que proporciona una CE de 2 dS m<sup>-1</sup>.

En el experimento se evaluaron dos factores: genotipos (“Azhura” y “El Cid”) y tres fertilizantes foliares (foligral, nutriK-80 y nutri humus) y un testigo de cada genotipo sin aplicación foliar. Mediante un arreglo bifactorial 2\*4 se generaron ocho tratamientos. El diseño experimental fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones; los tratamientos se distribuyeron aleatoriamente en la cada repetición generando 32 unidades experimentales. Cada repetición estuvo definida por ocho unidades experimentales a una separación de 1.2 m con una longitud de 4 m. La unidad experimental se constituyó por siete plantas distanciadas a 65 cm. Se seleccionaron tres plantas del centro de cada hilera (parcela útil) y se midieron las variables. El trasplante se realizó el 30 de abril por la tarde para evitar deshidratación de la plántula y se aplicó un riego de 500 ml por bolsa.

Las plantas se llevaron a un tallo, realizando la colocación del tutorado a partir de los siete días después de trasplante. Se podaron los frutos para homogeneizar el tamaño de los mismos; de manera que por racimo hubiera solo seis frutos. La polinización se realizó mediante el ligero golpeteo de la rafia de soporte en las mañanas cuando la temperatura oscilaba entre 24 y 27 °C.

*Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici* race 1 and 2. The second high resistance *verticilosis*, *fusarium*, root galls and tomato mosaic caused by *Verticillium albo-atrum* V. Dahlie, *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici* race 1 and 2, *Meloidogyne arenaria*, *M. javanica* y *M. incognita* and tomato mosaic virus.

Three foliar fertilizers were selected: foligral<sup>®</sup>, nutri K-80<sup>®</sup> and nutri humus<sup>®</sup>, which are commercial products on the market, recommended for horticultural crops such as tomatoes and increase quality and performance of the same. The nutrient solution for fertigation used is based on Steiner (1981), which is used commercially and experimentally due to the effectiveness of the same according to the applied EC. The formulation was Ca (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 4H<sub>2</sub>O (9 meq L<sup>-1</sup>), KNO<sub>3</sub> (3 meq L<sup>-1</sup>) K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (3 meq L<sup>-1</sup>), MgSO<sub>4</sub> 5H<sub>2</sub>O (4 meq L<sup>-1</sup>) and KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (4 meq L<sup>-1</sup>) which provides a CE of 2 dS m<sup>-1</sup>.

The experiment evaluated two factors: genotypes (“Azhura” and “El Cid”) and three foliar fertilizers (foligral, nutriK-80 and nutri humus) and one control of each genotype without foliar application. Eight treatments were generated by a 2\*4 bifactorial arrangement. The experimental design was randomized complete blocks with four replicates; the treatments were randomly distributed in each replicate generating 32 experimental units. Each repetition was defined by eight experimental units at a distance of 1.2 m from each other with a length of 4 m. The experimental unit consisted of seven plants spaced 65 cm apart. Three plants were selected from the center of each row (useful plot), from which all measurements of the variables were taken. The transplant was performed on April 30 in the afternoon to avoid dehydration of the seedling and irrigation of 500 ml per bag.

The plants were taken to a stem, placing the tutoring placement after seven days after transplantation. The fruits were pruned to homogenize the size of the fruits; so that by bunch there would be only six fruits. The pollination was carried out by the slight tapping of the raffia in the mornings when the temperature ranged between 24 and 27 °C.

During the whole cycle, the amount of water applied by the product of the irrigation time was quantified by the expenditure of the dropper, thus calculating the consumption applied by irrigation, per day and total during the experiment. The amount of irrigation applied to the crop ranged from 0.22 to 1.4 L per plant per day according to the phenological stage. At the end of the growing season the amount of water applied reached 171 L planta<sup>-1</sup> (Figura 1).

Durante todo el ciclo se cuantificó la cantidad de agua aplicada mediante el producto del tiempo de riego por el gasto del gotero, logrando calcular así el consumo aplicado por riego, por día y total durante el experimento. La cantidad de riego aplicado al cultivo osciló de 0.22 a 1.4 L por planta al día de acuerdo a la etapa fenológica. Al final del ciclo de cultivo la cantidad de agua aplicada llegó a 171 L planta<sup>-1</sup> (Figura 1).

El fruto se cosechó cuando éste alcanza un color rojo intenso y estuvo completamente maduro (etapa 6 de maduración en fruto de tomate), cabe señalar que las plantas que conforman la parcela útil se cosecharon alrededor de 36 frutos por planta desde el primer al sexto racimo. El rendimiento fue cuantificado con todos los frutos desde el primer hasta el sexto racimo, en cuanto a las variables de calidad se determinaron mediante los frutos tres y cuatro del tercero y sexto racimo. Para estimar el rendimiento, se pesaron los frutos cosechados con una báscula digital (Remo). Asimismo una vez que se cosechó hasta el sexto racimo se calculó el rendimiento por hectárea contemplando la densidad de 13 890 plantas ha<sup>-1</sup> obtenida con la distribución de plantas en el experimento.

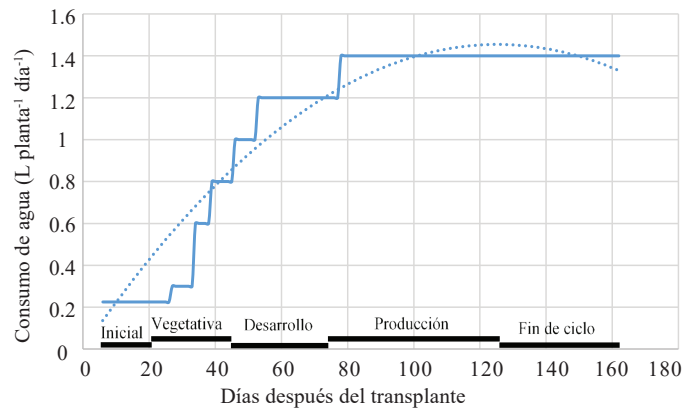
Determinación de las variables de calidad. El licopeno se determinó por colorimetría, se empleó un colorímetro (Hunterlab) el cual se calibró al inicio para determinar mediciones de color L, a\* y b\* reportadas en el sistema internacional de color (CIE). A cada fruto cosechado para determinaciones de calidad se le determinaron estos parámetros y mediante la fórmula descrita por Arias *et al.* (2000) se determinó el licopeno.

$$\text{Licopeno (mg 100 g}^{-1}\text{)} = 11\,848 \cdot (a^*/b^*) + 1.5471$$

Los sólidos solubles (°Brix) fueron determinados a cada fruto, partiéndolo por mitad y se extrajo una gota de jugo para la respectiva medición en un refractómetro digital (Atago). El pH del fruto se determinó mediante la extracción y centrifugación del jugo de tomates de cada unidad experimental en grupos de tres; es decir, dos muestras por racimo, finalmente sin diluir se tomó la lectura con la ayuda de un potenciómetro (HANNA).

La acidez titulable se determinó mediante la metodología de Gómez y Camelo (2002) mediante la siguiente fórmula:

$$A = (0.0064V/G) \cdot 100$$



**Figura 1. Consumo de agua (solución nutritiva) por planta por día durante el ciclo de cultivo.**

**Figure 1. Water consumption (nutrient solution) per plant per day during the growing season.**

The fruit was harvested when it reached a deep red color and was fully ripe (stage 6 maturation in tomato fruit), it should be noted that the plants that make up the useful plot were harvested about 36 fruits per plant from the first to the sixth cluster. The yield was quantified with all fruits from the first to the sixth cluster, as the quality variables were determined by the fruits three and four of the third and sixth cluster. To estimate the yield, the harvested fruits were weighed with a digital scale (Remo). Also once he harvested until the sixth cluster yield per hectare was calculated considering the density of 13 890 plants ha<sup>-1</sup> obtained with the distribution of plants in the experiment.

Determination of quality variables. Lycopene was determined by colorimetry, a colorimeter (Hunterlab) was used which was calibrated at baseline to determine L, a\* and b\* color measurements reported in the International Color System (CIE). Each harvested fruit for quality determinations were also determined by these parameters and the formula described by Arias *et al.* (2000) lycopene was determined.

$$\text{Licopeno (mg 100 g}^{-1}\text{)} = 11\,848 \cdot (a^*/b^*) + 1.5471$$

The soluble solids (°Brix) were determined on each fruit, split in half and extracted one drop of juice for the respective measurement in a digital refractometer (Atago). The pH of the fruit was determined by extracting and centrifuging the juice of tomatoes from each experimental unit in groups of three; i.e., two samples per bunch. Finally without dilution, the reading was taken with the aid of a potentiometer (HANNA).

Donde: A= acidez en (%) de ácido cítrico; V= volumen de NAOH 0.1 N gastado (cm<sup>3</sup>), y G= cantidad de la muestra (g).

Finalmente, el potasio en fruto se determinó utilizando la mitad de cada fruto cosechado para las determinaciones anteriores. Se cortó en láminas delgadas sin semillas, se colocó en platos de aluminio de 22 cm de diámetro y se introdujeron a la estufa de secado a una temperatura de 65 °C durante cinco días. Posteriormente se molieron las muestras en un molino (General Electric) hasta pulverizadas. Después se realizó una digestión húmeda con una solución biácida a base de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y HClO<sub>4</sub> en relación 2:1 de la cual se tomó 2 ml por muestra a la que también se adiciono 1 ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Una vez terminada la digestión se filtró y aforó a 10 ml con agua des-ionizada para finalmente analizar el contenido de potasio en un espectrofotómetro de masas (ICP) (VALIAN 725 ES).

Para el análisis estadístico, los datos de las variables se sometieron al análisis de varianza mediante el Statistical Analysis System (SAS); de acuerdo al diseño experimental de bloques al azar (Martínez, 1988).

## Resultados y discusión

Para el rendimiento y las variables de calidad analizadas se puede observar en el análisis de varianza (ANOVA), en el Cuadro 1, que en ningún caso hubo diferencias significativas en cuanto a los genotipos, pero si en la aplicación de los fertilizantes foliares y la prueba de Tuckey al 95% indica que la aplicación de fertilizantes foliares con potasio provocan un incremento en las variables descritas.

The titratable acidity was determined using the methodology of Gómez and Camelo (2002) using the following formula.

$$A = (0.0064V/G) * 100$$

Where: A= acidity in (%) citric acid; V= volume of NAOH 0.1 N spent (cm<sup>3</sup>), and G= amount of sample (g).

Finally, the potassium in fruit was determined using half of each fruit harvested for the previous determinations. It was cut into thin sheets without seed, placed in aluminum plates of 22 cm in diameter and introduced to the drying oven at a temperature of 65 °C for five days. The samples were then ground in a mill (General Electric) until pulverized. A wet digestion was then performed with a biacid solution based on H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and HClO<sub>4</sub>, in ratio 2:1 of which 2 ml per sample was added to which 1 ml of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> was also added. At the end of the digestion, 10 ml of deionized water was filtered and analyzed to finally analyze the potassium content in a mass spectrometer (ICP) (VALIAN 725 ES).

For the statistical analysis, the data of the variables were subjected to the analysis of variance by the Statistical Analysis System (SAS); according to the experimental design of random blocks (Martínez, 1988).

## Results and discussion

In the analysis of variance (ANOVA), in Table 1, there were no significant differences in the genotypes, but in the application of foliar fertilizers and 95% at Tuckey test indicates that the application of foliar fertilizers with potassium causes an increase in the described variables.

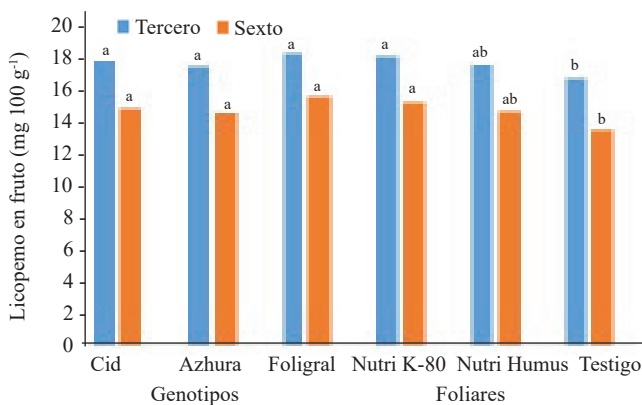
**Cuadro 1. Análisis de varianza en fruto de tomate en respuesta al genotipo y fertilizante foliar.**  
**Table 1. Analysis of variance in tomato fruit in response to genotype and foliar fertilizer.**

Fuente de variación	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	Licopeno (mg 100 g <sup>-1</sup> )		Sólidos solubles (°Brix)		Potasio en fruto (g kg <sup>-1</sup> )	
		Racimo 3	Racimo 6	Racimo 3	Racimo 6	Racimo 3	Racimo 6
BLOQUE	0.5777 ns	0.4077 ns	0.9206 ns	0.1792 ns	0.7533 ns	0.5685 ns	0.4369 ns
GEN	0.7024 ns	0.2373 ns	0.52 ns	0.6891 ns	0.5124 ns	0.6104 ns	0.1758 ns
FOL	0.0395*	0.0061**	0.0093**	0.016*	0.0078**	0.0089**	0.0015**
GEN*FOL	0.9903 ns	0.6775 ns	0.9852 ns	0.9854 ns	0.9744 ns	0.99 ns	0.9394 ns
CV (%)	10	4	8	7	6	9	5

ns= no significativo ( $p > 0.05$ ); \* = significativo ( $p > 0.01$  y  $p \leq 0.05$ ); \*\* = altamente significativo ( $p \leq 0.01$ ). Valores con la misma letra son estadísticamente iguales.

El rendimiento es bajo (Figura 2) respecto a lo reportado por otros autores en tomate Saladette; Flores *et al.* (2007) (200 t ha<sup>-1</sup>), Bugarín *et al.* (2002) (190 t ha<sup>-1</sup>) y Márquez *et al.* (2013) (137 t ha<sup>-1</sup>); sin embargo, la razón principal de tal magnitud en diferencia se debe principalmente a la densidad de siembra, que para este experimento fue de cerca de 30% de la densidad comercial y en segundo lugar al número de racimos cosechados, que en este caso fueron seis. Cabe señalar que contemplando este último punto, la producción por planta fue superior respecto a los citados autores teniendo 3.6 kg hasta el sexto racimo.

En tomate determinado tipo Saladette hay una variación en el contenido de licopeno en cada racimo cosechado, esta sigue una tendencia polinómica decreciente reportada hasta el racimo noveno (Ramírez *et al.*, 2011) y es por ello que en los resultados de este experimento, el tercer racimo fue superior que el sexto en esta variable. Mediante la prueba de Tuckey se identifica a Foligral® y Nutri K-80® como los que provocan un incremento mayor en la concentración de licopeno, después se ubica Nutri Humus® por arriba del testigo (Figura 3); esta variación puede deberse a la concentración de K<sup>+</sup> en los fertilizantes y también a que en su formulación existen otros constituyentes como aminoácidos, fitohormonas y ácidos húmicos y fúlvicos que pudieron participar en dichas diferencias.

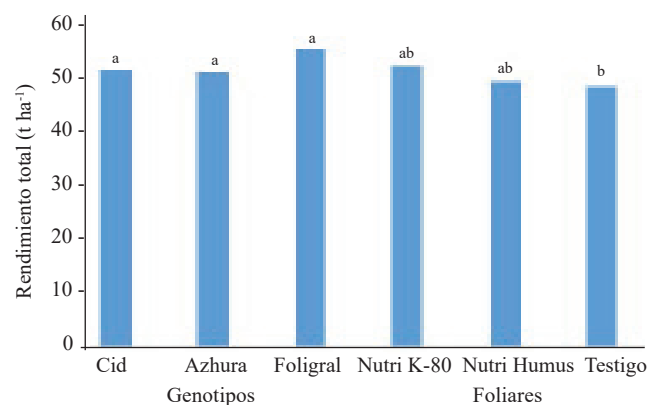


**Figura 3. Contenido de licopeno (mg 100 g<sup>-1</sup>) en fruto de tomate en respuesta al genotipo y fertilizante foliar.**

**Figure 3. Lycopene content (mg 100 g<sup>-1</sup>) in tomato fruit in response to genotype and foliar fertilizer.**

Cabe señalar que los dos fertilizantes foliares que provocaron mayor concentración de licopeno diferían en 15% de concentración de K<sup>+</sup> pero uno de ellos (Nutri K-80®) contiene aminoácidos, vitaminas y fitohormonas que pudieron participar en el incremento. Si bien la concentración de

The yield is low (Figure 2) compared to what was reported by other authors in Saladette tomato; Flores *et al.* (2007) (200 t ha<sup>-1</sup>), Bugarín *et al.* (2002) (190 t ha<sup>-1</sup>) and Márquez *et al.* (2013) (137 t ha<sup>-1</sup>); however, the main reason for this magnitude in difference is mainly due to the density of sowing, which for this experiment was about 30% of the commercial density and secondly to the number of clusters harvested, which in this case were six. It should be noted that considering this last point, the production per plant was higher with respect to the mentioned authors having 3.6 kg up to the sixth cluster.



**Figura 2. Rendimiento total (t ha<sup>-1</sup>) en fruto de tomate en respuesta al genotipo y fertilizante foliar.**

**Figure 2. Total yield (t ha<sup>-1</sup>) in tomato fruit in response to genotype and foliar fertilizer.**

In particular tomato Saladette type there is variation in the content of lycopene in each cluster harvested, this follows a polynomial trend decreasing reported to the cluster ninth (Ramírez *et al.*, 2011) and that is why the results of this experiment, the third cluster was higher than the sixth cluster in this variable. The tuckey test by a Foligral® and Nutri K-80® is identified as causing a further increase in the concentration of lycopene, then Nutri Humus® located above the control (Figure 3); this variation may be due to the concentration of K<sup>+</sup> in fertilizers and also that in its formulation there are other constituents such as amino acids, phytohormones and humic and fulvic acids that could participate in such differences.

It should be noted that the two foliar fertilizers that caused higher concentration of lycopene differed in 15% concentration of K<sup>+</sup> but one of them (Nutri K-80®) contains aminoacids, vitamins and plant hormones that could participate in the increase. Although the concentration of lycopene in the fruit is related to maturation; due to the

licopeno en el fruto está relacionada con la maduración; debido al aumento de dicho carotenoide y disminución de la clorofila al pasar el fruto de verde a rojo (Bramley, 2002); el potasio participa como agente hidratante que al causar un gradiente osmótico, propicia la entrada de agua, ocasionando la turgencia celular (Alcántar y Trejo, 2013), mecanismo que permite que las células en desarrollo alcancen el tamaño adecuado, relacionado en este caso con el tamaño del fruto, incrementando el rendimiento de tomate y cantidad de licopeno.

Los resultados se encuentran entre los citados por Gaspar *et al.* (2012), George *et al.* (2004) y Ramírez *et al.* (2011), e indican una variación de 4.2 a 16.8 mg 100 g<sup>-1</sup>, al respecto este último autor señala que sus resultados fueron similares a otros realizados con base en el incremento de carotenoides respecto a la adición de K en la fertilización. De modo que es por ello que el contenido de licopeno se incrementó debido a la adición de fertilizantes foliares formulados a base de potasio, logrando un incremento más significativo en aquellos cuya concentración de tal catión fue mayor.

De los sólidos solubles, aproximadamente 60% son azúcares, principalmente glucosa y fructosa (Gómez y Camelo, 2002), dado que en la planta es altamente necesario un suministro adecuado de estos, la nutrición y manejo son muy importantes para lograr tal fin (Reuscher *et al.*, 2014). Entre otros factores de importancia, la nutrición es fundamental para una adecuada concentración de °Brix en frutos comercializables. La prueba de comparación de medias Tuckey para sólidos solubles (°Brix) indica que Foligral y Nutri K-80 fueron los fertilizantes que provocaron los valores mayores. Las diferencias entre los tratamientos radican en la concentración de potasio en los fertilizantes, elemento que favorece la translocación de fotosintatos (entre ellos azúcares) desde las hojas hacia los órganos demandantes, en este caso los frutos; de tal modo que una nutrición suficiente de K<sup>+</sup> genera una adecuada tasa de translocación que propicia mayor concentración de azúcares al fruto (Alcántar y Trejo, 2013).

Además, la aplicación foliar de potasio es una ventaja puesto que por ser aplicado directamente en las hojas agiliza el proceso (Trinidad y Aguilar, 1999). Por otro lado, Ramírez *et al.* (2011) señalan que existe variación entre el contenido de sólidos solubles (°Brix) de cada racimo cosechado en tomate indeterminado tipo Saladette; siendo que existe un detrimento en el contenido de grados desde el primer al quinto racimo que posteriormente tiene un repunte en los

increase of said carotenoid and decrease of chlorophyll as the fruit passes from green to red (Bramley, 2002); the potassium is involved as a moisturizing agent that causes an osmotic gradient, facilitating the entry of water, resulting in cellular turgor (Alcántar and Trejo, 2013), a mechanism that allows the developing cells to reach the appropriate size, related in this case to the size of the fruit, increasing the yield of tomato and amount of lycopene.

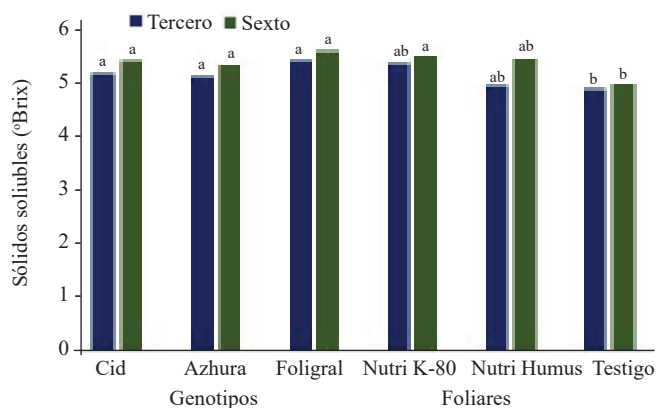
The results are among those cited by Gaspar *et al.* (2012), George *et al.* (2004) and Ramírez *et al.* (2011), and indicate a variation of 4.2 to 16.8 mg 100 g<sup>-1</sup>, in this respect the latter author indicates that their results were similar to others realized based on the increase of carotenoids with respect to the addition of K in the fertilization. So that is why the lycopene content was increased due to the addition of foliar fertilizers formulated with potassium, achieving a more significant increase in those whose concentration of such cation was greater.

Of the soluble solids, approximately 60% are sugars, mainly glucose and fructose (Gómez and Camelo, 2002), since the plant is highly necessary an adequate supply of these, nutrition and management are very important to achieve this goal (Reuscher *et al.*, 2014). Among other important factors, nutrition is essential for an adequate concentration of °Brix in marketable fruits. The Tuckey means comparison test for soluble solids (°Brix) indicates that Foligral and Nutri K-80 were the fertilizers that caused the higher values. The differences between treatments lie in the concentration of potassium in fertilizers, an element that favors the translocation of photosynthates (among them sugars) from the leaves to the demanding organs, in this case the fruits; so that sufficient nutrition K<sup>+</sup> generates an adequate rate of translocation promotes higher concentration of the fruit sugars (Alcántar and Trejo, 2013).

In addition, the foliar application of potassium is an advantage since it is applied directly to the leaves and accelerates the process (Trinidad and Aguilar, 1999). Furthermore, Ramírez *et al.* (2011) indicate that there is variation between soluble solids content (°Brix) of each cluster harvested in indeterminate tomato Saladette type; being that there is a detriment in the content of degrees from the first to the fifth cluster that later has a rebound in the seventh and ninth clusters, this justifies the fact that in the experiment the third cluster has lower values than the sixth cluster in the content of soluble solid. The results obtained (Figure 4) agree in range with Arana *et al.* (2006) (4.21 y



racimos séptimo y noveno, esto justifica el hecho que en el experimento el racimo tercero tenga valores inferiores que el racimo sexto en el contenido de sólidos solubles. Los resultados obtenidos (Figura 4) concuerdan en rango con Arana *et al.* (2006) (4.21 y 5.3), Arteaga *et al.* (2006) (4.45 a 5.27), Bugarín *et al.* (2002) (3.9 a 4.2), Casierra y Aguilar (2008) (3.8 a 5), Gaspar *et al.* (2012) (3.9 a 5.2), George *et al.* (2004) (5), Gómez y Camelo (2002) (3.8 a 4.53), Hernández *et al.* (2013) (3.9 a 5.2), Márquez *et al.* (2013) (4.2 a 4.7) y Ramírez *et al.* (2011) (4.8 a 5.5).



**Figura 4. Sólidos solubles (°Brix) en fruto de tomate en respuesta al genotipo y fertilizante foliar.**

**Figure 4. Soluble solids (°Brix) in tomato fruit in response to genotype and foliar fertilizer.**

Los genotipos usados, por si solos tienen un contenido significativo de sólidos solubles; sin embargo, este incrementa hasta valores más altos citados por los autores; con la adición de fertilizantes foliares con potasio como formulación básica, de modo que aquellos cuya concentración de  $K^+$  fue mayor lograron producir un incremento más significativo de estos azúcares en la planta.

El contenido de potasio en  $g\ kg^{-1}$  se incrementó en función de la aplicación de foliares con mayor concentración de dicho nutrimento. Siendo sobresalientes Foligral® y Nutri K-80®, esto es evidente pues las aplicaciones de potasio contribuyeron a satisfacer la demanda de dicho nutrimento por parte de la planta. Bugarín *et al.*, (2002a) indican que la cantidad de  $K^+$  influye significativamente en la calidad de la producción en un rango de 3 a 6 meq  $L^{-1}$  en la solución nutritiva. Asimismo, entre el 70 y 80% del  $K^+$  es demandado por los frutos en desarrollo, esto debido a que el potasio es necesario para uniformizar la maduración, acumular ácidos orgánicos en el fruto para mejorar el sabor y para incentivar el ingreso de agua al fruto (Alcantar y Trejo, 2013).

5.3), Arteaga *et al.* (2006) (4.45 a 5.27), Bugarín *et al.* (2002) (3.9 a 4.2), Casierra and Aguilar (2008) (3.8 a 5), Gaspar *et al.* (2012) (3.9 a 5.2), George *et al.* (2004) (5), Gómez y Camelo (2002) (3.8 a 4.53), Hernández *et al.* (2013) (3.9 a 5.2), Márquez *et al.* (2013) (4.2 a 4.7) and Ramírez *et al.* (2011) (4.8 a 5.5).

The genotypes used alone have a significant soluble solids content; however, this increases to higher values cited by the authors; with the addition of potassium foliar fertilizers as basic formulation, so that those whose  $K^+$  concentration was higher able to produce a significant increase of these sugars in the plant.

The potassium content in  $g\ kg^{-1}$  increased depending on the application of foliar highest concentration of that nutrient. Being outstanding Foligral® and Nutri K-80®, this is evident as potassium applications contributed to meet the demand for this nutrient by the plant. Bugarín *et al.* (2002a) indicates that the amount of  $K^+$  significantly influences the quality of production in a range of 3 to 6 meq  $L^{-1}$  in the nutrient solution. Also, between 70 and 80% of  $K^+$  is demanded by the developing fruit this because potassium is necessary for uniform ripening, accumulate organic acids in the fruit to enhance flavor and to encourage the entry of water fruit (Alcántar and Trejo, 2013).

Also, in each cluster harvested differs potassium concentration, it follows a polynomial trend upward to the fifth cluster which decreases in the later clusters (Ramírez *et al.*, 2011), which in the results obtained in this experiment justifies variation between the third and sixth cluster. The results (Figure 5) match Betancourt and Pierre (2013) (3 to 14  $g\ kg^{-1}$ ) but differ from Bugarín *et al.* (2002a) (42 to 60  $g\ kg^{-1}$ ), both determinate tomato, they are also below those reported by Ramírez *et al.* (2011) (28.3 a 56.1  $g\ kg^{-1}$ ) which can be explained taking into account the variation between the concentration of  $K^+$  in tomato has among other causes (climate and management) growth habit of the plant and cycle culture (Bugarín *et al.*, 2002b).

The same author points out that the accumulation of potassium by the fruit follows a growing trend corresponding to a polynomial function where the fastest increase is found in the first crops and decreases at the end of the crop cycle. It also points out that the accumulation of K in the fruit is approximately 60% of the total accumulation in the plant, so that the contribution of this element is of great importance due to its effect on the quality of the fruit as well as the turgidity of the cells (Alcántar and Trejo, 2013).

Asimismo, en cada racimo cosechado difiere la concentración de potasio, misma que sigue una tendencia polinómica ascendente hasta el quinto racimo que decrece en los racimos posteriores (Ramírez *et al.*, 2011), lo que en los resultados obtenidos en este experimento justifica la variación entre el tercer y sexto racimo. Los resultados (Figura 5) concuerdan con Betancourt y Pierre (2013) (3 a 14 g kg<sup>-1</sup>) pero difieren de Bugarín *et al.* (2002a) (42 a 60 g kg<sup>-1</sup>), ambos en tomate de crecimiento determinado, también se encuentran por debajo de los reportados por Ramírez *et al.* (2011) (28.3 a 56.1 g kg<sup>-1</sup>) lo que se puede explicar tomando que cuenta que la variación entre la concentración de K<sup>+</sup> en tomate tiene entre otros causales (clima y manejo) el hábito de crecimiento de la planta y ciclo de cultivo (Bugarín *et al.*, 2002b).

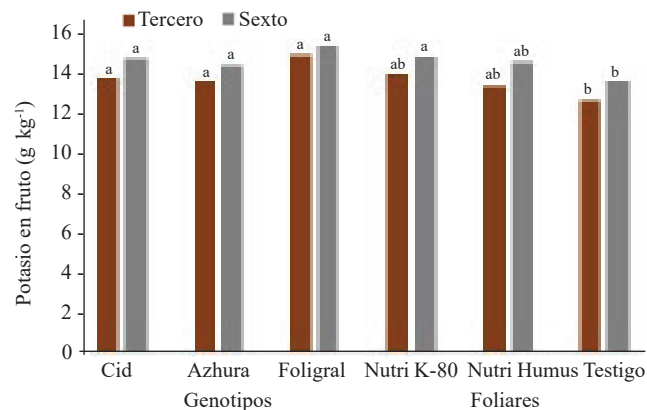
El mismo autor señala que la acumulación de potasio por parte del fruto sigue una tendencia creciente que corresponde a una función polinómica donde el incremento más rápido se encuentra en las primeras cosechas y disminuye al final del ciclo de cultivo. También señala que la acumulación de K en el fruto es de aproximadamente 60% de la acumulación total en la planta, de modo que es de suma importancia la aportación de este elemento debido al efecto que tiene en la calidad del fruto así como la turgencia de las células (Alcantar y Trejo, 2013).

## Conclusiones

La cantidad de agua aplicada es mayor a la citada por la literatura para el tomate en tal periodo; sin embargo, también sería necesario cuantificar el requerimiento hídrico para la densidad de plantación evaluada en este experimento. Las aplicaciones foliares de productos enriquecidos con potasio favorecen la acumulación de azúcares (°Brix), de licopeno y de potasio en el fruto, además logran incrementar el rendimiento del cultivo y la calidad del fruto. Por otro lado se observa que hay una relación proporcional entre la concentración del K<sup>+</sup> en el fertilizante foliar y el incremento de dichas variables de calidad y rendimiento.

## Literatura citada

Alcantar, G. G. y Trejo, T. L. I. 2013. Nutrición de cultivos. Colegio de postgraduados. Primera reedición. México. 26-363 pp.



**Figura 5. Contenido de potasio (g kg<sup>-1</sup>) en fruto de tomate en respuesta al genotipo y fertilizante foliar.**

**Figure 5. Potassium content (g kg<sup>-1</sup>) in tomato fruit in response to genotype and foliar fertilizer.**

## Conclusions

The amount of water applied is greater than that quoted by the literature for tomato cultivation in such period, however; it would also be necessary to quantify the water requirement for the plantation density evaluated in this experiment. The foliar applications of products enriched with potassium favor the accumulation of sugars (°Brix), lycopene and potassium in the fruit, in addition they manage to increase the yield of the crop and the quality of the fruit. Furthermore, it is observed that there is a proportional relationship between the concentration of K<sup>+</sup> in the foliar fertilizer and increasing said variable quality and performance.

*End of the English version*



- Amaya, P.; Peña, L.; Mosquera, A.; Villada, H. y Villada, D. 2009. Efecto del uso de recubrimientos sobre la calidad del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). España. Dyna. 162:67-73.
- Arana, I.; Jarén, C.; Arazuri, S.; García, M.; Ursua, A. y Riga, P. 2006. Calidad del tomate fresco: técnica de cultivo y variedad. España. ResearchGate. (20):111-115.
- Arias, R.; Lee, T. Ch.; Logendra, L. and Janes, H. 2000. Correlation of lycopene measured by HPLC with the L, a, b color reading of a hydroponic tomato and the relationship of maturity with color and lycopene content. USA. J. Agric. Food Chem. 48:1697-1702.

- Arteaga, M.; Garcés, N.; Guridi, F.; Pino, J.; López, A.; Menéndez, J. y Cartaya, O. 2006. Evaluación de las aplicaciones foliares de humus líquido en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) Var. Amalia en condiciones de producción. Cuba. Cultivos tropicales 3(27): 95-101.
- Betancourt, P. y Pierre, F. 2013. Extracción de macronutrientes por el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill. Var. Alba) en casas de cultivo en Quibor, Estado Lara. Venezuela. Bioagro 5(3):181-188.
- Bramley, P. 2002. Regulation of carotenoid formation during tomato fruit ripening and development. U.S.A. Journal of Experimental Botany. 53(377):2107-2113.
- Bugarín, M. R.; Galvis, S.A.; Sánchez, G.P. y García, P. D. 2002a. Demanda de potasio del tomate tipo Saladette. México. Terra Latinoam. 20(4):391-399.
- Bugarín, M. R.; Galvis, S. A.; Sánchez, G. P. y García, P. D 2002b. Acumulación diaria de materia seca y de potasio en la biomasa aérea total de tomate. México. Terra Latinoam. 20(4):401-409.
- Cano, P.; Moreno, A.; Márquez, C.; Rodríguez, N. y Martínez, V. 2004. Producción orgánica de tomate bajo invernadero en la comarca lagunera. In: Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura. Invernaderos: diseño, manejo y producción. Sánchez, R. F. J.; Moreno, R. J. L.; Puente, M. y Araiza, J. C. (Eds.). Torreón, Coahuila, México. 109-122 p.
- Casierra, F. y Aguilar, O. 2008. Calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez. Colombia. Agronomía Colombiana. 26(2):300-307.
- FAO. 2013a. FAOSTAT. Importaciones y exportaciones de tomate. <http://faostat3.fao.org/browse/t/tp/>.
- FAO. 2013b. FAOSTAT. Producción de tomate. <http://faostat3.fao.org/browse/t/tp/e>.
- Flores, J.; Ojeda, W.; López, I.; Rojano, A. y Salazar, I. 2007. Requerimiento de riego para tomate de invernadero. México. Terra Latinoam. 25:127-134.
- Fortes, R.; Prieto, M.; González, J. y Campillo, C. 2013. Evaluación del riego deficitario controlado sobre la calidad y la producción en las distintas fases fenológicas del cultivo de tomate para industria. In: VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas, Madrid, España. 89 p.
- Gaspar, P.; Carrillo, J.; Chávez, J.; Vera, A. y Pérez, I. 2012. Variación de caracteres agronómicos y licopeno en líneas avanzadas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Argentina. Phyton. 81:15-22.
- George, B.; Kaur C.; Khurdiya D.S. and Kapoor H.C. 2004. Antioxidants in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as a function of genotype. U.S.A. Food Chemistry. 84:45-51.
- Gómez, P. A. y Camelo, A. F. L. 2002. Calidad postcosecha de tomates almacenados en atmósferas controladas. Brasil. Hortic. Bras. 20(1):38-43.
- Hernández, E.; Lobato, R.; García, J.; Reyes, D.; Méndez, A.; Bonilla, O. y Hernández, A. 2013. Comportamiento agronómico de poblaciones F<sub>2</sub> de híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). México. Rev. Fitotec. Mex. 3(36):209-215.
- López, E.; Gabriel, J.; Angulo, A.; Magne, J.; Crespo, M. y La Torre, J. 2015. Herencia y relación genética asociados al rendimiento, madurez en híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L. Mill.). Costa Rica. Agronomía Costarricense. 39(1):107-119.
- Márquez, C.; Cano, P.; Figueroa, U.; Ávila, J.; Rodríguez, N. y García, J. 2013. Rendimiento y calidad de tomate con fuentes orgánicas de fertilización en invernadero. Argentina. Phyton. 82:55-61.
- Martínez, A. 1988. Diseños experimentales, métodos y técnicas de teoría. Trillas. Primera edición. México. 299-329 pp.
- Ordóñez, A.; Balanza, M.; Martín, F. y Flores, C. 2009. Estabilidad del carotenoide licopeno en tomates en conserva. Argentina. Información Tecnológica. 4(20):31-37.
- Ramírez, L.; Muro, J. y Díaz, F. 2011. Efecto de diferentes concentraciones de potasio en parámetros de calidad en jitomate hidropónico. México. Acta universitaria 1(21):5-10.
- Reuscher, S.; Akiyama, M.; Yasuda, T.; Makino, H.; Aoki K.; Shibata, D. and Shiratake, K. 2014. The sugar transporter inventory of tomato: genome-wide identification and expression analysis. USA. Plant Cell Physiology. 55(6):1123-1141.
- Rodríguez, N.; Cano, P.; Figueroa, U.; Favela, E.; Moreno, A.; Márquez, C.; Ochoa, E. y Preciado, P. 2009. Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. México. Terra Latinoamericana. 4(27):319-327.
- Terry, E. y Ruiz, J. 2010. Respuesta del cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a la aplicación foliar de un bioestimulante derivado del Vermicompost. Cuba. Temas de Ciencia y Tecnología. 41(14):27-2.
- Trinidad, S. A. y Aguilar, M. D. 1999. Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. México. Terra Latinoamericana. 3(17):247-255.