

## Effect of preharvest growth bioregulators on physicochemical quality of saladette tomato

## Efecto de biorreguladores del crecimiento en precosecha sobre la calidad fisicoquímica de tomate saladette

María Teresa Martínez-Damián<sup>1</sup>; Rene Cano-Hernández<sup>1</sup>;  
Esaú del Carmen Moreno-Pérez<sup>1</sup>; Felipe Sánchez-del Castillo<sup>1</sup>;  
Oscar Cruz-Álvarez<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Estado de México, C. P. 56230, MÉXICO.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Campus 1 s/n, Chihuahua, Chihuahua, C. P. 31350, MÉXICO.

\*Autor para correspondencia: [ocruz@uach.mx](mailto:ocruz@uach.mx), tel. (625) 108 1294.

### Abstract

*Solanum lycopersicum* L. is one of the most consumed horticultural products in the world, due to its wide versatility in use (fresh and processed) and high nutraceutical value. The objective of this research was to evaluate the effect of preharvest spraying of ethephon, calcium prohexadione, iodine and sodium selenite on some physicochemical quality parameters in greenhouse-grown saladette tomato fruits. The experimental design was completely randomized and the evaluated variables were color, weight, equatorial and polar diameter, roundness index, firmness, total soluble solids (TSS), titratable acidity (TA) and lycopene concentration. Individual application of ethephon (1.6 mL·L<sup>-1</sup>) and iodine (5 mL·L<sup>-1</sup>) significantly increased fruit weight (133.71 g) and firmness (3.26 N), with respect to the control (80.36 g and 0.95 N). Fruits that showed the highest TA (0.34 % citric acid) were those sprayed with 125 mg·L<sup>-1</sup> of sodium selenite. On the other hand, the equatorial and polar diameter, TSS and lycopene concentrations, brightness, hue and roundness index did not differ statistically among treatments. Preharvest foliar application of ethephon, iodine and sodium selenite could be considered as an agronomic management alternative in greenhouse tomato production systems.

**Keywords:** *Solanum lycopersicum* L., ethephon, calcium prohexadione, iodine, sodium selenite

### Resumen

*Solanum lycopersicum* L. es una de las hortalizas de mayor consumo a nivel mundial, debido a la amplia versatilidad en su uso (fresco y procesado) y por su alto valor nutracéutico. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la aspersión precosecha de etefón, prohexadiona de calcio, yodo y selenito de sodio sobre algunos parámetros de calidad fisicoquímica en frutos de tomate saladette cultivados en invernadero. El diseño experimental fue completamente al azar y las variables evaluadas fueron color, peso, diámetro ecuatorial y polar, índice de redondez, firmeza, sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT) y concentración de licopeno. La aplicación individual de etefón (1.6 mL·L<sup>-1</sup>) y yodo (5 mL·L<sup>-1</sup>) incrementó significativamente el peso (133.71 g) y firmeza (3.26 N) de los frutos, respectivamente, con respecto al testigo (80.36 g y 0.95 N). Los frutos que presentaron mayor AT (0.34 % de ácido cítrico) fueron los asperjados con 125 mg·L<sup>-1</sup> de selenito de sodio. Por su parte, el diámetro ecuatorial y polar, la concentración de SST y de licopeno, la brillantez, la tonalidad de color y el índice de redondez no difirieron estadísticamente entre los tratamientos. La aplicación foliar en precosecha de etefón, yodo y selenito de sodio podría ser considerada como una alternativa de manejo agronómico en los sistemas de producción de tomate en invernadero.

**Palabras clave:** *Solanum lycopersicum* L., etefón, prohexadiona de calcio, yodo, selenito de sodio.



## Introduction

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is one of the most popular vegetables among consumers, as it is a main ingredient in the preparation of sauces, traditional dishes and processed foods (Islam, Mele, Baek, & Kang, 2018), in addition to its nutritional contribution (Figueroa-Cares et al., 2018). Globally, the area arvested amounts to 5 786 746 ha, in which China, India and Nigeria stand out with a production of 233 466 175 million tons, although the highest yields are reported in China, India and the United States (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAOSTAT], 2016), countries where the use of greenhouses and shade mesh with different degrees of technology predominates (Becvort-Azcurra et al., 2012).

The increase in tomato productivity has contributed to the monthly variation in prices; that is, its availability during the year is associated with the concentration of production in a short period of time, so negative effects are observed in both producers and consumers (Casierra-Posada & Aguilar-Avendaño, 2008). In addition to the above, postharvest problems related to mechanical damage are also frequent, caused by inadequate handling, storage, transport and packaging conditions, as well as by the physiological characteristics of the fruit (Carrillo-López & Yahia, 2014; Pezzarossa, Rosellini, Borghesi, Tonutti, & Malorgio, 2014).

Application of plant hormones is associated with various agronomic practices (control of vegetative growth, increase in fruit set and size, sprouting of floral buds, among others) (Ramírez et al., 2012), within which ripening is one of the physiological processes that receives the most attention due to the impact it has on the quality characteristics of horticultural products during postharvest handling (Jiang et al., 2011); in addition, these hormones are a complementary tool that helps increase crop productivity (Ramírez et al., 2008). However, other compounds (growth bioregulators) promote, inhibit or modify the behavior of morphological and physiological processes of plants (Barry & Roux, 2010), and it is common to classify them according to the physiological processes with which they are associated and their response when applied (Çetinbaş, Butar, Atasay, Isci, & Kocal, 2015; Kiferle, Gonzali, Holwerda, Real-Ibaceta, & Perata, 2013).

From a physiological point of view, ethephon (2-chloroethyl phosphonic acid) is considered an ethylene precursor, as it is a gaseous plant hormone that regulates growth (Crisosto, Bremer, Norton, Ferguson, & Einhorn, 2010). Calcium prohexadione (3-oxyde-4-propionyl-5-oxo-3-cyclohexano-carboxylate) is a chemical compound that when applied on a foliar basis in several crops (pear, apple, pepper and tomato) inhibits the synthesis

## Introducción

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las hortalizas más populares entre los consumidores, ya que constituye un ingrediente principal en la elaboración de salsas, platillos tradicionales y alimentos procesados (Islam, Mele, Baek, & Kang, 2018), además de su aporte nutrimental (Figueroa-Cares et al., 2018). A nivel mundial, la superficie cosechada asciende a 5 786 746 ha, en la que destacan China, India y Nigeria con una producción de 233 466 175 millones de toneladas, aunque los rendimientos mayores se reporta en China, India y Estados Unidos (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAOSTAT], 2016), países en donde predomina el uso de invernaderos y malla sombra con diferente grado de tecnificación (Becvort-Azcurra et al., 2012).

El incremento de la productividad de tomate ha contribuido a la variación mensual de los precios; es decir, su disponibilidad durante el año se encuentra asociada con la concentración de la producción en un corto periodo de tiempo, por lo que los efectos negativos se observan tanto en productores como consumidores (Casierra-Posada & Aguilar-Avendaño, 2008). Aunado a lo anterior, también son frecuentes los problemas poscosecha relacionados con daños mecánicos, almacenamiento, transporte y empaques, así como por las características fisiológicas del fruto (Carrillo-López & Yahia, 2014; Pezzarossa, Rosellini, Borghesi, Tonutti, & Malorgio, 2014).

La aplicación de hormonas vegetales se asocia con diversas prácticas agronómicas (control del crecimiento vegetativo, incremento en el amarre y tamaño de fruto, brotación de yemas florales, entre otros) (Ramírez et al., 2012), dentro de las cuales la maduración es uno de los procesos fisiológicos que más atención recibe, debido al impacto que tiene sobre las características de calidad de los productos hortofrutícolas durante su manejo poscosecha (Jiang et al., 2011); adicionalmente, dichas hormonas son una herramienta complementaria que coadyuva a incrementar la productividad de los cultivos (Ramírez et al., 2008). No obstante, existen otros compuestos (biorreguladores del crecimiento) que en bajas concentraciones promueven, inhiben o modifican el comportamiento de los procesos morfológicos y fisiológicos de las plantas (Barry & Roux, 2010), y es común clasificarlos de acuerdo con los procesos fisiológicos con los que se asocian y su respuesta al ser aplicados (Çetinbaş, Butar, Atasay, Isci, & Kocal, 2015; Kiferle, Gonzali, Holwerda, Real-Ibaceta, & Perata, 2013).

Desde el punto de vista fisiológico, el etefón (ácido 2-cloroetil fosfónico) se considera un precursor de

of gibberellins present in the apexes of the stems, thus reducing their vegetative growth (growth retardant) (Ramírez et al., 2008). On the other hand, iodine and selenium in the form of sodium selenite are trace minerals with beneficial effects in higher plants (Islam et al., 2018; Lee, Kang, Kim, & Kim, 2007).

The above is a product of the evaluation of their hormonal behavior, that is, their relationship with the growth and development of leaves, branches and fruits. However, the information associated with the response to their preharvest application on the physicochemical quality of tomato fruit is little or nil. In this context, the physicochemical quality of the fruit determines the level of consumer acceptance, as well as the consumption time of the product, where the beginning of the ripening process and the softening of the cell wall are the main attributes of perishability in climacteric fruits such as tomato (Pezzarossa et al., 2014; Uchanski & Blalock, 2013). However, at this stage the synthesis and accumulation of various nutraceutical compounds (ascorbic acid, citric acid, tocopherol, polyphenols, lycopene and volatile compounds) are present in greater proportion (Carrillo-López & Yahia, 2014), which could be altered by the preharvest application of compounds with growth regulating activity (Kiferle et al., 2013; Schmitzer, Veberic, & Stampar, 2012). This is important because this compound contributes significantly to the physicochemical quality of tomatoes (Becvort-Azcurra et al., 2012; Caicedo-Orjuela & Galvis-Venegas, 2012); therefore, the objective of this research was to evaluate the effect of preharvest spraying of ethephon, calcium prohexadione, iodine and sodium selenite on some physicochemical quality parameters in greenhouse-grown saladette tomato fruits.

## Materials and methods

### Plant material

The commercial saladette tomato hybrid 'Condor' (Ahern Seeds) with indeterminate growth was used. The experiment was carried out from April to August 2016 in a greenhouse located in the Plant Science Department's Experimental Field at Autonomous Chapingo University, State of Mexico, Mexico (19° 29' 25" LN and 98° 52' 23" LW, at 2,240 masl), with an average annual temperature of 15.9 °C.

### Growth bioregulators applied

Four commercial chemicals with growth bioregulatory activity were used: ethephon (Ethrel 240, Bayer®, Mexico), calcium prohexadione (Apogee®, BASF, USA), iodine (Q-2000 Plus®, Quimcasa, Mexico) and sodium selenite (45 % sodium selenite®, Retorte, Germany). First, 2.5 L of each bioregulator were prepared under

etileno, ya que es una hormona vegetal gaseosa que regula el crecimiento (Crisosto, Bremer, Norton, Ferguson, & Einhorn, 2010). La prohexadiona de calcio (3-óxido-4-propionil-5-oxo-3-ciclohexano-carboxilato) es un compuesto químico que al ser aplicado de manera foliar en diversos cultivos (pera, manzana, chile y tomate) inhibe la síntesis de giberelinas presentes en los ápices de los tallos, por lo que se reduce su crecimiento vegetativo (retardante del crecimiento) (Ramírez et al., 2008). Por su parte, el yodo y el selenio en forma de selenito de sodio son minerales traza con efectos benéficos en las plantas superiores (Islam et al., 2018; Lee, Kang, Kim, & Kim, 2007).

Lo descrito anteriormente es producto de la evaluación de su comportamiento hormonal; es decir, su relación con el crecimiento y desarrollo de hojas, ramas y frutos. Sin embargo, la información asociada con la respuesta a su aplicación precosecha sobre la calidad fisicoquímica del fruto de tomate es poca o nula. Bajo este contexto, la calidad fisicoquímica del fruto determina el nivel de aceptación del consumidor, así como el tiempo de consumo del producto, donde el inicio del proceso de maduración y el reblandecimiento de la pared celular son los principales atributos de perecibilidad en los frutos climatéricos como el tomate (Pezzarossa et al., 2014; Uchanski & Blalock, 2013). No obstante, en esta etapa se presenta en mayor proporción la síntesis y acumulación de diversos compuestos nutraceuticos (ácido ascórbico, ácido cítrico, tocoferol, polifenoles, licopeno y compuestos volátiles) (Carrillo-López & Yahia, 2014), lo cual podría alterarse por la aplicación precosecha de compuestos con actividad reguladora del crecimiento (Kiferle et al., 2013; Schmitzer, Veberic, & Stampar, 2012). Esto es importante debido a que dicho compuesto contribuye de forma significativa en la calidad fisicoquímica del tomate (Becvort-Azcurra et al., 2012; Caicedo-Orjuela & Galvis-Venegas, 2012); por ello, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la aspersión precosecha de etefón, prohexadiona de calcio, yodo y selenito de sodio, sobre algunos parámetros de calidad fisicoquímica en frutos de tomate saladette cultivados en invernadero.

## Materiales y métodos

### Material vegetal

Se utilizó el híbrido comercial de tomate 'Condor' (Ahern Seeds) tipo saladette con crecimiento indeterminado. El experimento se realizó de abril a agosto de 2016 en un invernadero ubicado en el Campo Experimental del Departamento de Fitotecnia, perteneciente a la Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, México (19° 29' 25" latitud norte y 98° 52' 23" longitud oeste, a 2,240 msnm), con temperatura media anual de 15.9 °C.

laboratory conditions, transported to the experimental site (greenhouse) in amber bottles with a screw cap, and coated with aluminum foil to prevent their degradation by light. Each bioregulator was individually applied to the experimental units on a foliar basis with a 20-L portable manual backpack (Swissmex®, Mexico).

### Crop management

Sowing was carried out in 200-cavity polystyrene trays, with a mixture of peat moss and vermiculite (90:10) as substrate. After 35 days the transplant was carried out in gutters (with dimensions of 25 x 1 x 0.6 m) at a density of 8 plants·m<sup>-2</sup> of useful greenhouse area (without considering aisles), for which the plants were pruned at the fifth cluster and led to a single stem. The gutters were filled with red tezontle (igneous volcanic rock with high iron dioxide content), with a particle size of 3 to 5 mm in diameter.

The supply of essential elements for crop growth and development was carried out according to the parameters established by Steiner's solution (Steiner, 1984) (Table 1), supplemented with micronutrients (mg·L<sup>-1</sup>) (iron [2], manganese [1], copper [0.05] and zinc [0.05]), with electrical conductivity values fluctuating between 2.5 and 3.0 dS·m<sup>-1</sup>. Nutrients were supplied via irrigation (3 to 5 irrigations per day) with 0.30 to 3.0 L·plant<sup>-1</sup>, depending on the weather conditions (environmental temperature and relative humidity) and phenological stages of the crop. Temperature was controlled manually by opening and closing the side windows protected with anti-aphid mesh. The fruits used for laboratory analysis were from the second and third bunches, with maturity stage six, that is, when the fruit had 90 % red coloration (Choi, Lee, Han, & Bunn, 1995), which coincides with ripeness for consumption.

### Experimental design

The experiment was conducted under a completely randomized experimental design with ten replicates, where the experimental unit consisted of eight plants. In total, two foliar applications of bioregulators (Table 2) were made per treatment, at 45 and 60 days after transplanting (dat). The control was maintained without application.

### Biorreguladores de crecimiento aplicados

Se emplearon cuatro productos químicos comerciales con actividad biorreguladora del crecimiento: etefón (Ethrel 240, Bayer®, México), prohexadiona de calcio (Apogee®, BASF, EUA), yodo (Q-2000 Plus®, Quimcasa, México) y selenito de sodio (selenito de sodio 45 %®, Retorte, Alemania). De cada biorregulador se prepararon 2.5 L en condiciones de laboratorio, los cuales se transportaron al sitio experimental (invernadero) en frascos ámbar con tapa de rosca y se recubrieron con papel aluminio para evitar su degradación por la luz. Cada biorregulador se aplicó individualmente sobre las unidades experimentales de manera foliar con una mochila manual portátil con capacidad de 20 L (Swissmex®, México).

### Manejo del cultivo

La siembra se realizó en charolas de poliestireno con 200 cavidades, con una mezcla de turba y vermiculita (90:10) como sustrato. Después de 35 días se llevó a cabo el trasplante en canaletas (con dimensiones de 25 x 1 x 0.6 m) a una densidad de 8 plantas·m<sup>-2</sup> del área útil del invernadero (sin considerar pasillos), para lo cual se despuntaron las plantas al quinto racimo y se condujeron a un solo tallo. Las canaletas se rellenaron con tezontle rojo (roca volcánica ígnea con alto contenido de dióxido de hierro), con tamaño de partícula de 3 a 5 mm de diámetro.

El suministro de elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo del cultivo se llevó a cabo de acuerdo con los parámetros que establece la solución de Steiner (Steiner, 1984) (Cuadro 1), complementada con micronutrientes (mg·L<sup>-1</sup>) (hierro [2], manganeso [1], cobre [0.05] y zinc [0.05]), con valores de conductividad eléctrica que fluctuaron entre 2.5 y 3.0 dS·m<sup>-1</sup>. Los nutrientes se suministraron vía riego (3 a 5 riegos por día) con 0.30 a 3.0 L·planta<sup>-1</sup>, dependiendo de las condiciones climáticas (temperatura ambiental y humedad relativa) y etapas fenológicas del cultivo. El control de temperatura fue manual, mediante la apertura y cierre de las ventanas laterales protegidas con malla antiáfidos. Los frutos utilizados para el análisis de laboratorio fueron del segundo y tercer racimo, con grado de madurez seis; es decir, cuando

**Table 1. Ionic balance (meq·L<sup>-1</sup>) of the nutrient solution used for the nutritional supply of greenhouse-grown saladette tomato plants.**

**Cuadro 1. Balance iónico (meq·L<sup>-1</sup>) de la solución nutritiva utilizada para el suministro nutrimental de plantas de tomate saladette cultivadas en invernadero.**

Concentration (%) / Concentración (%)	Anions / Aniones				Cations / Cationes			
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	Total	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Total
100	73.81	10.02	16.17	100	26.78	52.3	20.92	100
	14.29	1.94	3.13	19.36	6.4	12.5	5	23.9



**Table 2. Concentration and active ingredient of growth bioregulators applied in greenhouse-grown saladette tomato plants.****Cuadro 2. Concentración e ingrediente activo de los biorreguladores de crecimiento aplicados en plantas de tomate saladette cultivadas en invernadero.**

Active ingredient/ Ingrediente activo	Concentration/ Concentración			Chemical name/Nombre químico
Ethephon/Etefón (mL·L <sup>-1</sup> )	0.8	1.2	1.6	2-Chloroethylphosphonic acid/Ácido-2 cloroetil-fosfónico
Pro-Ca <sup>1</sup> (mg·L <sup>-1</sup> )	50	100	200	3-oxyde-4-propionyl-5-oxo-3-cyclohexane carboxylate/ 3-óxido-4-propionil-5-oxo-3-ciclohexano carboxilato
Iodine (mL·L <sup>-1</sup> )/Yodo (mL·L <sup>-1</sup> )	1	3	5	Free iodine/Yodo libre
SS (mg·L <sup>-1</sup> )	75	125	175	Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>

<sup>1</sup>Pro-Ca = calcium prohexadione; SS = sodium selenite.<sup>1</sup>Pro-Ca = prohexadiona de calcio; SS = selenito de sodio.

### Evaluated variables

**Fruit color.** It was determined on the epidermis, in the equatorial part of the fruit, by means of a portable sphere spectrophotometer (SP-62, X-Rite®, USA). The CIE 1976 color coordinates (L\* a\* b\*) (Voss, 1992) were obtained, and from there the values of chromaticity ( $C^* = [a^2 + b^2]^{1/2}$ ) and hue angle or °h ( $\arctan^{-1} [b/a]$ ).

**Fruit weight (g).** It was obtained by means of a digital electronic scale (Scout Pro SP 602, Ohaus®, USA), with a capacity of 0.6 kg and sensitivity of 0.01 g.

**Polar and equatorial diameter (mm).** They were measured with a Vernier caliper (CAL-6MP, Truper®, Mexico) on the polar and equatorial plane of the fruit.

**Roundness index (dimensionless).** With polar and equatorial diameter data, this index was calculated using the expression  $RI = pd/ed$ , where  $pd$  and  $ed$  are the polar and equatorial diameter, respectively.

**Firmness (N).** It was determined on the epidermis and in the equatorial zone of the fruit with a digital texturometer (Compact Gauge, Mecmesin CE™, USA).

**Total soluble solids (TSS, °Brix).** They were quantified with a portable digital refractometer (PAL-1, Atago®, USA), for which two drops of fruit juice were placed on the device's optical reader.

**Titrateable acidity (TA, % citric acid).** It was determined in accordance with the methodology proposed by the Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1990). First, 20 g of fruit were homogenized with 50 mL of distilled water, then 10 mL of the mixture were taken and neutralized with a NaOH solution (0.1 N), in which 1 % phenolphthalein was used as an indicator.

el fruto presentaba 90 % de coloración roja (Choi, Lee, Han, & Bunn, 1995), lo que coincide con la madurez de consumo.

### Diseño experimental

El experimento se estableció mediante un diseño experimental completamente al azar con diez repeticiones, donde la unidad experimental consistió de ocho plantas. En total se realizaron dos aplicaciones foliares de biorreguladores (Cuadro 2) por tratamiento, a los 45 y 60 días después del trasplante (ddt). El testigo se mantuvo sin aplicación.

### Variables evaluadas

**Color del fruto.** Se determinó sobre la epidermis, en la parte ecuatorial del fruto, mediante un espectrofotómetro portátil de esfera (SP-62, X-Rite®, USA). Se obtuvieron las coordenadas de color CIE 1976 (L\* a\* b\*) (Voss, 1992), y de ahí los valores de cromaticidad ( $C^* = [a^2 + b^2]^{1/2}$ ) y ángulo de tonalidad o °h ( $\arctan^{-1} [b/a]$ ).

**Peso de fruto (g).** Se obtuvo mediante una balanza electrónica digital (Scout Pro SP 602, Ohaus®, USA), con capacidad de 0.6 kg y sensibilidad de 0.01 g.

**Diámetro polar y ecuatorial (mm).** Se midieron con un vernier (CAL-6MP, Truper®, México) sobre el plano polar y ecuatorial del fruto.

**Índice de redondez (adimensional).** Con los datos de diámetro polar y ecuatorial, este índice se calculó mediante la expresión  $IR = dp/de$ , donde  $dp$  y  $de$  son el diámetro polar y ecuatorial, respectivamente.

**Firmeza (N).** Se determinó sobre la epidermis y en la zona ecuatorial del fruto con texturometro digital (Compact Gauge, Mecmesin CE™, USA).

**Lycopene (mg·100 g<sup>-1</sup> fresh weight).** The lycopene concentration was quantified according to the method modified by Sadler, Davis, and Dezman (1990). First, 20 g of tissue were taken and homogenized with 50 mL of distilled water. The mixture obtained was placed in a flask covered with aluminium foil and dried at 38 °C. Subsequently, 0.1 g of the pulp was taken and placed in a test tube covered with aluminium foil, to which 30 mL of a mixture of hexane, ethanol and acetone (2:1:1) were added and stirred for 10 min. After this time, 18 mL of distilled water were added and stirred again for 5 min. The mixture was separated into two phases (aqueous and organic). With separation flasks, the volume of the organic phase was taken and indicated, and its absorbance was determined at 470 nm. The lycopene content was calculated using the formula indicated by Inbaraj and Chen (2008).

With one fruit per experimental unit and ten replicates, color, weight, polar and equatorial diameter, and roundness index were evaluated. For firmness, TSS, TA and lycopene content, two fruits per experimental unit and three replicates were used.

### Statistical analysis

The data obtained were verified for normality and homogeneity of variances with the Kolmogorov-Smirnov and Bartlett tests, respectively (Sokal & Rohlf, 1995). Subsequently, one-way analysis of variance and Tukey's test ( $P \leq 0.05$ ) were performed using Statistical Analysis Software (SAS Institute, 2002).

## Results and discussion

### Color

No statistical differences were detected in the brightness and hue (°h) of the fruits among the evaluated treatments (Table 3), which was confirmed visually with the presence of red fruits, but with orange hue tendencies (°h between 51.88 and 59.51) and with low brightness values ( $L^*$  between 29.33 and 31.07). In this regard, the onset of tomato fruit ripening is characterized by the production of phytoene, a colorless compound related to color development, as it induces the synthesis and accumulation of lycopene (red) (Carrillo-López & Yahia, 2014; Casierra-Posada & Aguilar-Avendaño, 2008), which coincides with the decrease in brightness of the red color (Becvort-Azcurra et al., 2012).

Fruits from plants treated with 200 mg·L<sup>-1</sup> of calcium prohexadione and 3 mL·L<sup>-1</sup> of iodine showed greater color purity with respect to the control (33.10); however, they did not surpass what was shown by the other treatments, with values fluctuating between 34.00 and 40.53. In contrast, Islam et al. (2018), when

**Sólidos solubles totales (SST, °Brix).** Se cuantificaron con un refractómetro digital portátil (PAL-1, Atago®, USA), para lo cual se colocaron dos gotas de jugo del fruto sobre el lector óptico del dispositivo.

**Acidez titulable (AT, % de ácido cítrico).** Se determinó de acuerdo con la metodología propuesta por la *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 1990). Se homogeneizaron 20 g de fruto con 50 mL de agua destilada, de la mezcla se tomaron 10 mL y se neutralizaron con una solución de NaOH (0.1 N), en la que se empleó fenolftaleína al 1 % como indicador.

**Licopeno (mg·100 g<sup>-1</sup> de peso fresco).** La concentración de licopeno se cuantificó según el método modificado por Sadler, Davis, y Dezman (1990). Se tomaron 20 g de tejido y se homogeneizaron con 50 mL agua destilada. La mezcla obtenida se colocó en un frasco cubierto con papel aluminio y se secó a 38 °C. Posteriormente, se tomó 0.1 g de la pasta y se colocó en un tubo de ensayo cubierto con papel aluminio, al que se le adicionaron 30 mL de una mezcla de hexano, etanol y acetona (2:1:1) y se agitó por 10 min. Pasado este tiempo, se adicionaron 18 mL de agua destilada y se volvió a agitar por 5 min. Se separó la mezcla en dos fases (acuosa y orgánica). Con matraces de separación se tomó e indicó el volumen de la fase orgánica, a la cual se le determinó su absorbancia a 470 nm. El cálculo del contenido de licopeno se realizó mediante la fórmula indicada por Inbaraj y Chen (2008).

Con un fruto por unidad experimental y diez repeticiones se evaluó el color, el peso, el diámetro polar y ecuatorial, y el índice de redondez. Mientras que para la firmeza, los SST, la AT y el contenido de licopeno se emplearon dos frutos por unidad experimental y tres repeticiones.

### Análisis estadístico

A los datos obtenidos se les verificó su normalidad y homogeneidad de varianzas con la prueba de Kolmogorov-Smirnov y Bartlett, respectivamente (Sokal & Rohlf, 1995). Posteriormente, se realizó el análisis de varianza de clasificación simple y comparación múltiple de medias mediante la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ), con ayuda del programa *Statistical Analysis Software* (SAS Institute, 2002).

## Resultados y discusión

### Color

No se detectaron diferencias estadísticas en el brillo y matiz (°h) de los frutos entre los tratamientos evaluados (Cuadro 3), lo cual se confirmó de manera visual con la presencia de frutos de color rojo, pero con tendencias a la tonalidad naranja (°h entre 51.88

**Table 3. Mean comparisons of color, weight and firmness of saladette tomato fruits among treatments.****Cuadro 3. Comparaciones de medias del color, peso y firmeza de frutos de tomate saladette entre tratamientos.**

Treatment/ Tratamiento	Color			Fruit weight (g)/ Peso de fruto (g)	Firmness (N)/ Firmeza (N)
	Brightness/ Brillantez	Chromaticity/ Cromaticidad	Hue (°h)/ Tonalidad (°h)		
E1 <sup>1</sup>	29.53 a <sup>z</sup>	34.32 ab	54.12 a	90.32 b-d	1.00 ed
E2	30.71 a	37.31 ab	53.66 a	91.32 bc	0.57 e
E3	30.47 a	37.34 ab	56.10 a	133.71 a	1.59 cd
P-Ca 1	29.48 a	37.09 ab	53.43 a	65.30 ef	2.06 cb
P-Ca 2	30.42 a	36.44 ab	55.62 a	76.31 c-f	1.73 cd
P-Ca 3	30.83 a	43.18 a	51.88 a	104.43 b	2.18 bc
Y1	29.88 a	37.50 ab	56.15 a	65.00 ef	1.24 ed
Y2	29.33 a	40.53 ab	56.37 a	68.70 e-d	2.43 b
Y3	29.42 a	42.50 a	53.86 a	74.21 c-e	3.26 a
SS1	29.94 a	34.00 ab	59.51 a	84.42 b-e	1.44 cd
SS2	30.38 a	36.70 ab	53.03 a	73.76 c-f	1.68 cd
SS3	31.07 a	40.49 ab	53.90 a	60.85 f	1.42 cd
Control/Testigo	30.74 a	33.10 b	56.10 a	80.36 c-f	0.95 ed
LSD/DMSH	2.62	9.29	11.12	21.85	0.79

<sup>1</sup>E1 = 0.8 mL·L<sup>-1</sup> of ethephon; E2 = 1.2 mL·L<sup>-1</sup> of ethephon; E3 = 1.6 mL·L<sup>-1</sup> of ethephon; P-Ca1 = 50 mg·L<sup>-1</sup> of calcium prohexadione; P-Ca2 = 100 mg·L<sup>-1</sup> of calcium prohexadione; P-Ca3 = 200 mg·L<sup>-1</sup> of calcium prohexadione; Y1 = 1 mL·L<sup>-1</sup> of iodine; Y2 = 3 mL·L<sup>-1</sup> of iodine; Y3 = 5 mL·L<sup>-1</sup> of iodine; SS1 = 75 mg·L<sup>-1</sup> of sodium selenite; SS2 = 125 mg·L<sup>-1</sup> of sodium selenite; SS3 = 175 mg·L<sup>-1</sup> of sodium selenite; LSD: least significant difference. <sup>z</sup>Means with the same letters within each column do not differ statistically (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

<sup>1</sup>E1 = 0.8 mL·L<sup>-1</sup> de etefón; E2 = 1.2 mL·L<sup>-1</sup> de etefón; E3 = 1.6 mL·L<sup>-1</sup> de etefón; P-Ca1 = 50 mg·L<sup>-1</sup> de prohexadiona de calcio; P-Ca2 = 100 mg·L<sup>-1</sup> de prohexadiona de calcio; P-Ca3 = 200 mg·L<sup>-1</sup> de prohexadiona de calcio; Y1 = 1 mL·L<sup>-1</sup> de yodo; Y2 = 3 mL·L<sup>-1</sup> de yodo; Y3 = 5 mL·L<sup>-1</sup> de yodo; SS1 = 75 mg·L<sup>-1</sup> de selenito de sodio; SS2 = 125 mg·L<sup>-1</sup> de selenito de sodio; SS3 = 175 mg·L<sup>-1</sup> de selenito de sodio; DMSH: diferencia mínima significativa honesta. <sup>z</sup>Medias con las mismas letras dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

evaluating various growth bioregulators (sodium selenate and potassium iodide at a concentration of 1 mg·L<sup>-1</sup>) in 'Unicorn' cherry tomato at harvest, reported no significant variation in relation to color ( $a^*/b^*$ ), with values between 0.65 and 0.66. On the other hand, Pezzarossa et al. (2014) indicate that selenium decreases the ripening rate by temporarily inhibiting the ethylene biosynthesis pathway, in addition to contributing to the antioxidant defense system against reactive oxygen species, caused by abiotic factors (presence of salts or heavy metals) (Caffagni et al., 2012).

### Fruit weight

Among the fruits harvested, the heaviest (133.71 g) were those from plants sprayed with 1.6 mL·L<sup>-1</sup> of ethephon (Table 3), representing a 62.65 % increase with respect to the control plants (80.36 g). In this sense, Atta-Aly, Riad, Lacheene, and Beltagy (1999), when making foliar applications with 100 mg·L<sup>-1</sup> of ethephon on 'Castle Rock' tomato flower bunches, obtained a significant increase in fruit fresh weight (123 g) compared to the control (113 g). These same authors point out that the dose used is not the most suitable for inducing

y 59.51) y con valores bajos de brillo ( $L^*$  entre 29.33 y 31.07). Al respecto, el inicio de la maduración del fruto de tomate se caracteriza por la producción de fitoeno, un compuesto incoloro relacionado con el desarrollo del color, ya que induce la síntesis y acumulación de licopeno (rojo) (Carrillo-López & Yahia, 2014; Casiererra-Posada & Aguilar-Avendaño, 2008), lo que coincide con la disminución de la brillantez del color rojo (Becvort-Azcurra et al., 2012).

Los frutos provenientes de plantas tratadas con 200 mg·L<sup>-1</sup> de prohexadiona de calcio y 3 mL·L<sup>-1</sup> de yodo presentaron una mayor pureza de color con respecto al testigo (33.10); sin embargo, no superaron lo mostrado por el resto de tratamientos, con valores que fluctuaron entre 34.00 y 40.53. En contraste, Islam et al. (2018), al evaluar diversos biorreguladores del crecimiento (selenato de sodio y yoduro de potasio a una concentración de 1 mg·L<sup>-1</sup>) en tomate cherry 'Unicorn' al momento de la cosecha, no reportan variación significativa con relación al color ( $a^*/b^*$ ), con valores entre 0.65 y 0.66. Por su parte, Pezzarossa et al. (2014) indican que el selenio disminuye la tasa de maduración al inhibir de forma temporal la ruta de biosíntesis de etileno, además

flower abscission, but it is sufficient to change the growth pattern of the fruit; that is, it increases the cell division and elongation processes (Marzouk & Kassem, 2011). This may suggest that applying a lower concentration, such as the one used in this study, may be positively involved in cell division and elongation of newly-set fruits, favoring a larger size, as indicated by Uchanski and Blalock (2013)

On the other hand, applying calcium prohexadione caused an alteration in the synthesis of active gibberellins in the apexes of the stems (Altintas, 2011) and an increase in the translocation of photoassimilates via phloem by the fruit (Çetinbaş et al., 2015), as also reported by Uchanski and Blalock (2013) in cayenne pepper (*Capsicum annuum* L.) 'Mesilla'. In contrast, Meland and Kaiser (2011) found a linear reduction between fruit weight and an increase in ethephon concentration applied to apple (*Malus sylvestris* [L.] Mill. var. *domestica* [Borkh] 'Summerred') two weeks after flowering. On the other hand, the treatment with calcium prohexadione showed a reduction in the number of fruits and a better distribution of available photoassimilates (Jiang et al., 2011). These results contrast with those reported in date palm (*Phoenix dactylifera* L.) (Mohammed-Al-Saif, Issa-Alebidi, Sultan-Al-Obeed, & Saad-Soliman, 2017), fig (*Ficus carica*) (Crisosto et al., 2010) and macadamia (*Macadamia integrifolia*) (Trueman, McConchie, & Turnbull, 2002). The variability is attributed to the planting season, the applied concentration and the phenological state of the crop (Crisosto et al., 2010; Shinozaki et al., 2015).

### Firmness

Among the fruit quality parameters most appreciated by the consumer is the firmness of the pulp (Figuerola-Cares et al., 2018), which is related to its morphological characteristics and the agronomic management provided in pre- (adequate nutritional and water input, as well as the control of fungal and bacterial diseases) and postharvest (harvest index and appropriate conservation methods) (Casierra-Posada & Aguilar-Avenidaño, 2008). In this research, applying 5 mL·L<sup>-1</sup> of iodine resulted in the highest firmness value (3.26 N) with respect to the control, while the values obtained with 200 mg·L<sup>-1</sup> of calcium prohexadione and 3 mL·L<sup>-1</sup> of iodine were the lowest for this variable (Table 3).

Saure (2014) indicates that obtaining adequate fruit growth requires increasing the synthesis and concentration of gibberellins (GB), of which the most important in the pericarp of the tomato fruit are those of the GB1 and GB20 types (Bohner, Hedden, Bora-Haber, & Bangerth, 1988). The GB1 content during fruit growth and development is high, and the Ca<sup>2+</sup> concentration is reduced; this is generated by the plant to allow cell expansion and increase membrane permeability, which is restored when the fruit has reached physiological

de coadyuvar al sistema de defensa antioxidante en contra de especies reactivas de oxígeno, ocasionadas por factores abióticos (presencia de sales o metales pesados) (Caffagni et al., 2012).

### Peso de fruto

Entre los frutos cosechados, los de mayor peso (133.71 g) fueron los provenientes de plantas asperjadas con 1.6 mL·L<sup>-1</sup> de etefón (Cuadro 3), lo que representa un incremento de 62.65 % con respecto al observado en las plantas testigo (80.36 g). En este sentido, Atta-Aly, Riad, Lacheene, y Beltagy (1999), al realizar aplicaciones foliares con 100 mg·L<sup>-1</sup> de etefón sobre racimos de flores de tomate 'Castle Rock', obtuvieron un incremento significativo en el peso fresco del fruto (123 g) con respecto al testigo (113 g). Estos mismo autores señalan que la dosis utilizada no es la más adecuada para inducir abscisión de flores, pero si es suficiente para cambiar el patrón de crecimiento del fruto; es decir, incrementa los procesos de división y elongación celular (Marzouk & Kassem, 2011). Lo anterior puede sugerir que la aplicación de una concentración menor, como la empleada en este estudio, puede estar involucrada de forma positiva en la división y elongación celular de los frutos recién cuajados, favoreciendo un mayor tamaño, tal como lo señala Uchanski y Blalock (2013).

Por otro lado, la aplicación de prohexadione de calcio provocó una alteración en la síntesis de giberelinas activas en los ápices de los tallos (Altintas, 2011) y un incremento en la translocación de fotoasimilados vía floema por parte del fruto (Çetinbaş et al., 2015); resultados similares fueron reportados por Uchanski y Blalock (2013) en chile cayene (*Capsicum annuum* L.) 'Mesilla'. En contraste, Meland y Kaiser (2011) encontraron una reducción lineal entre el peso de fruto y el incremento en la concentración de etefón aplicado en manzano (*Malus sylvestris* [L.] Mill. var. *domestica* [Borkh] 'Summerred') dos semanas después de floración. Por otro lado, el tratamiento con prohexadione de calcio presentó una reducción en el número de frutos y una mejor distribución de los fotoasimilados disponibles (Jiang et al., 2011). Dichos resultados contrastan con los reportados en palma datilera (*Phoenix dactylifera* L.) (Mohammed-Al-Saif, Issa-Alebidi, Sultan-Al-Obeed, & Saad-Soliman, 2017), higo (*Ficus carica*) (Crisosto et al., 2010) y macadamia (*Macadamia integrifolia*) (Trueman, McConchie, & Turnbull, 2002). La variabilidad se atribuye a la época de siembra, a la concentración aplicada y al estado fenológico del cultivo (Crisosto et al., 2010; Shinozaki et al., 2015).

### Firmeza

Entre los parámetros de la calidad de fruto más apreciados por el consumidor se encuentra la firmeza de la pulpa (Figuerola-Cares et al., 2018), la cual se relaciona con sus



maturity (Marschner, 1995). In this sense, applying a GB synthesis inhibitor, such as calcium prohexadione, is usually an alternative to reduce the risk of calcium deficiency in the early stages of fruit growth and development (Saure, 2014).

For its part, iodine is a non-essential microelement for plants (except for some aquatic species); however, it does have some beneficial effects (Caffagni et al., 2012) as it has been reported that it can induce a decrease in the respiration process and ethylene synthesis in cherry tomato fruits (Islam et al., 2018), which maintains the integrity of the cell wall (Dhall & Singh, 2013; Saure, 2014). This is desirable if the fruit's shelf life is to be increased.

Islam et al. (2018) mention that 'Unicorn' cherry tomato fruits sprayed with 1 mg·L<sup>-1</sup> of potassium iodide had firmness values of approximately 15.86 N, which was similar to the application of 1 mg·L<sup>-1</sup> of sodium selenate (16.82 N). In this study, sodium selenite treatments showed no significant variation (Table 3). The disparity between what has been studied and what has been reported in the literature, according to Caffagni et al. (2012), may be associated with the iodine uptake and accumulation capacity of the tissues, which in most cases is a function of the applied concentration, time of application, age, and type and morphology of the organs (leaves, roots and fruits) (Kiferle et al., 2013; Landini, Gonzali, & Perata, 2011).

### Equatorial and polar diameter

Fruit growth directly influences its characteristic shape, and a quantitative way to determine it is by equatorial and polar diameter (Figueroa-Cares et al., 2018; Montoya-Holguin, Cortés-Osorio, & Chaves-Osorio, 2014). In this study, none of these variables showed significant statistical differences among treatments, whose values were 43.33 to 55.6 mm and 59 to 77.14 mm, for equatorial and polar diameter, respectively (Table 4). In contrast, Atta-Aly et al. (1999), with the application of 100 mg·L<sup>-1</sup> of ethephon in 'Castle Rock' tomato (*S. lycopersicum* L.) plants at 10, 12, 18, 24, 30, 35, 40, 45, 50, 55 and 60 days after floral opening, found a greater response from day 30 in fruit diameter (from 5.71 to 6.98 cm), behavior associated with the increase in the number and size of cells (Shinozaki et al., 2015). These same authors mention that concentrations of 300 mg·L<sup>-1</sup> of ethephon, applied in days after floral opening, cause the formation of abscission points and flower fall, a situation that did not occur in this study because the applied ethephon dose was much lower.

On the other hand, the use of calcium prohexadione is related to lower vegetative growth; that is, it acts as

características morfológicas y el manejo agronómico proporcionado en pre (aporte nutrimental e hídrico adecuados, así como el control de enfermedades fúngicas y bacterianas) y poscosecha (índice de cosecha y métodos de conservación apropiados) (Casierra-Posada & Aguilar-Avendaño, 2008). En esta investigación, la aplicación de 5 mL·L<sup>-1</sup> de yodo presentó el mayor valor de firmeza (3.26 N) con respecto al testigo, mientras que los valores obtenidos con 200 mg·L<sup>-1</sup> de prohexadiona de calcio y 3 mL·L<sup>-1</sup> de yodo fueron los más bajos en esta variable (Cuadro 3).

Saure (2014) indica que para obtener un crecimiento adecuado del fruto es necesario incrementar la síntesis y concentración de giberelinas (GB), dentro de las cuales las más importantes en el pericarpio del fruto de tomate son las del tipo GB1 y GB20 (Bohner, Hedden, Bora-Haber, & Bangerth, 1988). El contenido de GB1 durante el crecimiento y el desarrollo del fruto es alta, y la concentración de Ca<sup>2+</sup> es reducida, esto es generado por la planta para permitir la expansión celular e incrementar la permeabilidad de la membrana, la cual se restablece cuando el fruto ha alcanzado la madurez fisiológica (Marschner, 1995). En este sentido, la aplicación de un inhibidor de la síntesis de GB, como la prohexadiona de calcio, suele ser una alternativa para reducir el riesgo de deficiencia de calcio en las etapas iniciales de crecimiento y desarrollo del fruto (Saure, 2014).

Por su parte, el yodo es un microelemento no esencial para las plantas (excepto para algunas especies acuáticas), sin embargo presenta efectos benéficos (Caffagni et al., 2012) debido a que se ha reportado que puede inducir la disminución del proceso de respiración y síntesis de etileno en frutos de tomate cherry (Islam et al., 2018), lo cual mantiene la integridad de la pared celular (Dhall & Singh, 2013; Saure, 2014). Lo anterior es deseable si se pretende incrementar la vida de anaquel del fruto.

Islam et al. (2018) mencionan que frutos de tomate cherry 'Unicorn' asperjados con 1 mg·L<sup>-1</sup> de yoduro de potasio presentaron valores de firmeza de aproximadamente 15.86 N, lo cual fue similar con la aplicación de 1 mg·L<sup>-1</sup> de selenato de sodio (16.82 N). En este estudio, los tratamientos asperjados con selenito de sodio no mostraron variación significativa (Cuadro 3). La disparidad entre lo estudiado y lo reportado en la literatura, de acuerdo con Caffagni et al. (2012), puede estar asociada con la capacidad de absorción y acumulación de yodo en los tejidos, que en la mayoría de los casos se encuentra en función de la concentración aplicada, época de aplicación, edad, y tipo y morfología de los órganos (hojas, raíces y frutos) (Kiferle et al., 2013; Landini, Gonzali, & Perata, 2011).

a growth retardant by inhibiting the synthesis of GB located at the apex of the stems (Schmitzer, Veberic, & Stampar, 2012), which induces the differentiation of floral buds and an increase in fruit set (Altintas, 2011). Çetinbaş et al. (2015) indicate that calcium prohexadione blocks the synthesis route of active GB, since it shortens shoot length, which decreases the competition for photoassimilates among newly-set fruits and reduces vegetative growth (branches and leaves) (Ramírez et al., 2012). This could be associated with the presence of larger fruits (Crisosto et al., 2010).

### Roundness index

The relationship between the equatorial and polar index expressed as the fruit roundness index was not significant ( $P \leq 0.05$ ) among treatments (Table 4) which indicates the presence of the characteristic “flattened” pattern (values  $< 1$ ); that is, fruits with greater polar than equatorial diameter (Montoya-Holguin et al., 2014). In this sense, Figueroa-Cares et al. (2018), when evaluating commercial varieties and native genotypes of cherry tomato, also do not report significant

### Diámetro ecuatorial y polar

El crecimiento del fruto influye directamente sobre su forma característica, y una manera cuantitativa de determinarla es mediante el diámetro ecuatorial y polar (Figueroa-Cares et al., 2018; Montoya-Holguin, Cortés-Osorio, & Chaves-Osorio, 2014). En este trabajo, ninguna de estas variables presentó diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, cuyos valores fueron de 43.33 a 55.6 mm y de 59 a 77.14 mm, para el diámetro ecuatorial y polar, respectivamente (Cuadro 4). En contraste, Atta-Aly et al. (1999), con la aplicación de 100 mg·L<sup>-1</sup> de etefón en plantas de tomate (*S. lycopersicum* L.) ‘Castle Rock’ a los 10, 12, 18, 24, 30, 35, 40, 45, 50, 55 y 60 días después de la apertura floral, encontraron una mayor respuesta a partir del día 30 en el diámetro del fruto (de 5.71 a 6.98 cm), comportamiento asociado con el incremento en el número y tamaño de las células (Shinozaki et al., 2015). Estos mismos autores mencionan que concentraciones de 300 mg·L<sup>-1</sup> de etefón, aplicados en días posteriores a la apertura floral, provocan la formación de puntos de abscisión y caída de flores, situación que no ocurrió en

**Table 4. Mean comparisons of fruit shape parameters evaluated in saladette tomato among different treatments.**  
**Cuadro 4. Comparación de medias de parámetros de forma de fruto evaluados en tomate saladette entre diferentes tratamientos.**

Treatment/ Tratamiento	Equatorial diameter (mm)/ Diámetro ecuatorial (mm)	Polar diameter (mm)/ Diámetro polar (mm)	Roundness index/ Índice de redondez
E1 <sup>1</sup>	46.55 ab <sup>2</sup>	64.11 ab	0.80 a
E2	48.91 ab	69.61 ab	0.78 a
E3	55.66 a	77.14 a	0.75 a
P-Ca1	43.33 ab	60.04 ab	0.79 a
P-Ca2	43.80 ab	62.10 ab	0.80 a
P-Ca3	49.58 ab	68.18 ab	0.74 a
Y1	44.14 ab	59.00 b	0.77 a
Y2	45.25 ab	61.13 ab	0.78 a
Y3	47.67 ab	70.09 ab	0.79 a
SS1	44.47 ab	61.47 ab	0.81 a
SS2	46.87 ab	64.63 ab	0.80 a
SS3	49.18 ab	71.09 ab	0.81 a
Control/Testigo	40.79 b	55.22 b	0.79 a
LSD/DMSH	12.50	17.10	0.07

<sup>1</sup>E1 = 0.8 mL·L<sup>-1</sup> of ethephon; E2 = 1.2 mL·L<sup>-1</sup> of ethephon; E3 = 1.6 mL·L<sup>-1</sup> of ethephon; P-Ca1 = 50 mg·L<sup>-1</sup> of calcium prohexadione; P-Ca2 = 100 mg·L<sup>-1</sup> of calcium prohexadione; P-Ca3 = 200 mg·L<sup>-1</sup> of calcium prohexadione; Y1 = 1 mL·L<sup>-1</sup> of iodine; Y2 = 3 mL·L<sup>-1</sup> of iodine; Y3 = 5 mL·L<sup>-1</sup> of iodine; SS1 = 75 mg·L<sup>-1</sup> of sodium selenite; SS2 = 125 mg·L<sup>-1</sup> of sodium selenite; SS3 = 175 mg·L<sup>-1</sup> of sodium selenite; LSD: least significant difference. <sup>2</sup>Means with the same letters within each column do not differ statistically (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

<sup>1</sup>E1 = 0.8 mL·L<sup>-1</sup> de etefón; E2 = 1.2 mL·L<sup>-1</sup> de etefón; E3 = 1.6 mL·L<sup>-1</sup> de etefón; P-Ca1 = 50 mg·L<sup>-1</sup> de prohexadiona de calcio; P-Ca2 = 100 mg·L<sup>-1</sup> de prohexadiona de calcio; P-Ca3 = 200 mg·L<sup>-1</sup> de prohexadiona de calcio; Y1 = 1 mL·L<sup>-1</sup> de yodo; Y2 = 3 mL·L<sup>-1</sup> de yodo; Y3 = 5 mL·L<sup>-1</sup> de yodo; SS1 = 75 mg·L<sup>-1</sup> de selenito de sodio; SS2 = 125 mg·L<sup>-1</sup> de selenito de sodio; SS3 = 175 mg·L<sup>-1</sup> de selenito de sodio; DMSH: diferencia mínima significativa honesta. <sup>2</sup>Medias con las mismas letras dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

statistical variation in this variable. Becvort-Azcurra et al. (2012) mention that this characteristic shows greater correlation with the genotype than with environmental aspects and agronomic management.

#### Total soluble solids (TSS) and titratable acidity (TA)

Application of ethephon, calcium prohexadione, iodine and sodium selenite did not show significant statistical difference with respect to the control in terms of TSS accumulation in harvested fruits (Table 5), whose values were between 4.15 and 5.15 °Brix. These results coincide with the findings reported by Islam et al. (2018), who indicate that they did not find significant changes in TSS in 'Unicorn' cherry tomato when they evaluated individual applications of potassium iodide (6.67 °Brix) and sodium selenite (6.69 °Brix) at a concentration of 1 mg·L<sup>-1</sup> at five weeks after harvest.

Soluble sugars in the form of disaccharides (sucrose) and monosaccharides (fructose and glucose) are among the main compounds that provide or favor

este estudio debido a que la dosis aplicada de etefón fue mucho más baja.

Por otro lado, el uso de prohexadiona de calcio se encuentra relacionado con un crecimiento vegetativo menor; es decir, actúa como retardante de crecimiento al inhibir la síntesis de GB ubicada en el ápice de los tallos (Schmitzer, Veberic, & Stampar, 2012), lo que induce la diferenciación de yemas florales y un incremento en el amarre de frutos (Altintas, 2011). Çetinbaş et al. (2015) señalan que la prohexadiona de calcio bloquea la ruta de síntesis de GB activas, ya que acorta la longitud de brotes, lo que disminuye la competencia por fotoasimilados entre los frutos recién cuajados y el crecimiento vegetativo (ramas y hojas) (Ramírez et al., 2012). Lo anterior podría asociarse a la presencia de frutos con mayor tamaño (Crisosto et al., 2010).

#### Índice de redondez

La relación entre el índice ecuatorial y polar expresada como índice de redondez del fruto no fue significativa

**Table 5. Mean comparisons of the concentration of total soluble solids, citric acid and lycopene in saladette tomato fruits among treatments.**

**Cuadro 5. Comparaciones de medias de la concentración de sólidos solubles totales, ácido cítrico y licopeno en frutos de tomate saladette entre tratamientos.**

Treatment / Tratamiento	Total soluble solids (°Brix) / Sólidos solubles totales (°Brix)	Titratable acidity (% citric acid) / Acidez titulable (% ácido cítrico)	Lycopene (mg·100 g <sup>-1</sup> ) / Licopeno (mg·100 g <sup>-1</sup> )
E1 <sup>1</sup>	4.65 ab <sup>2</sup>	0.14 f	11.81 bc
E2	4.93 a	0.14 f	11.89 a-c
E3	4.15 b	0.19 dc	13.45 ab
P-Ca1	5.15 a	0.25 b	8.92 d
P-Ca2	4.86 a	0.24 b	11.63 b-d
P-Ca3	4.86 a	0.25 b	14.65 a
Y1	4.71 ab	0.16 fe	11.74 bc
Y2	4.68 ab	0.17 de	9.15 cd
Y3	4.75 ab	0.20 c	11.28 b-d
SS1	4.66 ab	0.16 fe	12.06 ab
SS2	4.77 ab	0.34 a	12.14 ab
SS3	4.87 a	0.23 b	10.85 b-d
Control/Testigo	4.75 ab	0.14 f	13.16 ab
LSD/DMSH	0.68	0.02	2.79

<sup>1</sup>E1 = 0.8 mL·L<sup>-1</sup> of ethephon; E2 = 1.2 mL·L<sup>-1</sup> of ethephon; E3 = 1.6 mL·L<sup>-1</sup> of ethephon; P-Ca1 = 50 mg·L<sup>-1</sup> of calcium prohexadione; P-Ca2 = 100 mg·L<sup>-1</sup> of calcium prohexadione; P-Ca3 = 200 mg·L<sup>-1</sup> of calcium prohexadione; Y1 = 1 mL·L<sup>-1</sup> of iodine; Y2 = 3 mL·L<sup>-1</sup> of iodine; Y3 = 5 mL·L<sup>-1</sup> of iodine; SS1 = 75 mg·L<sup>-1</sup> of sodium selenite; SS2 = 125 mg·L<sup>-1</sup> of sodium selenite; SS3 = 175 mg·L<sup>-1</sup> of sodium selenite; LSD: least significant difference. <sup>2</sup>Means with the same letters within each column do not differ statistically (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

<sup>1</sup>E1 = 0.8 mL·L<sup>-1</sup> de etefón; E2 = 1.2 mL·L<sup>-1</sup> de etefón; E3 = 1.6 mL·L<sup>-1</sup> de etefón; P-Ca1 = 50 mg·L<sup>-1</sup> de prohexadiona de calcio; P-Ca2 = 100 mg·L<sup>-1</sup> de prohexadiona de calcio; P-Ca3 = 200 mg·L<sup>-1</sup> de prohexadiona de calcio; Y1 = 1 mL·L<sup>-1</sup> de yodo; Y2 = 3 mL·L<sup>-1</sup> de yodo; Y3 = 5 mL·L<sup>-1</sup> de yodo; SS1 = 75 mg·L<sup>-1</sup> de selenito de sodio; SS2 = 125 mg·L<sup>-1</sup> de selenito de sodio; SS3 = 175 mg·L<sup>-1</sup> de selenito de sodio; DMSH: diferencia mínima significativa honesta. <sup>2</sup>Medias con las mismas letras dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

the presence of the characteristic flavor in fruit and vegetable products (Beckles, 2012). However, another minor factor is the synthesis and accumulation of organic acids (citric, malic and tartaric), of which citric acid predominates in the case of tomato (Caicedo-Orjuela & Galvis-Venegas, 2012). In this sense, preharvest application of 125 mg·L<sup>-1</sup> of sodium selenite allowed obtaining fruits with the highest TA (Table 5), while Islam et al. (2018), when applying 1 mg·L<sup>-1</sup> of potassium iodide and sodium selenate in 'Unicorn' cherry tomato fruits, found no significant statistical variation in TA; however, their reported values are higher (1.03 and 1.04 % citric acid for each treatment, respectively). Additionally, Lee et al. (2007) report higher TA values in 'Super Momotaro' tomato fruits with sodium selenium applications at 30 dat, that is, under conditions very similar to the present study.

### Lycopene

Table 5 shows that the lycopene content of the fruits harvested from plants treated with bioregulators had, in most cases, a similar behavior in relation to the control, except the treatments with 50 mg·L<sup>-1</sup> of calcium prohexadione and 3 mL·L<sup>-1</sup> of iodine, whose concentration of this carotenoid decreased significantly (8.92 and 9.15 mg·100 g<sup>-1</sup>, respectively). In contrast, Ramírez et al. (2012), when applying 125, 175 and 200 mg·L<sup>-1</sup> of calcium prohexadione in 'Floradade' tomato fruits with 10 true leaves (vegetative growth), report a four-to eight-fold increase compared to the control. These authors found their best result when they evaluated fruits with green shoulders (maturity stage four), that is, when the fruit had more than 30 % red coloration, but not exceeding 60 % (Choi et al., 1995). Altintas (2011) points out that prohexadione may be involved in the modification of the synthesis routes of several secondary metabolites, including carotenoids such as lycopene, and impact on antioxidant capacity, thus providing health benefits (Ramírez et al., 2008).

Based on the conditions of this research and the results obtained, the bioregulators that had a greater response were ethephon, iodine and sodium selenite, without observing significant differences in relation to calcium prohexadione. If the goal is to increase the cell division and elongation processes, and obtain fruits of greater weight, the use of ethephon is suggested. Conversely, if the aim is to decrease respiration and ethylene production, and increase fruit firmness and shelf life, iodine application may be an excellent alternative. These recommendations are related to the fact that they are relatively inexpensive products and are available from commercial agrochemical product stores.

( $P \leq 0.05$ ) entre los tratamientos (Cuadro 4), lo cual indica la presencia del patrón característico "achatado" (valores < 1); es decir, frutos con mayor diámetro polar que ecuatorial (Montoya-Holguin et al., 2014). En este sentido, Figueroa-Cares et al. (2018), al evaluar variedades comerciales y genotipos nativos de tomate tipo cherry, tampoco reportan variación estadística significativa en esta variable. Becvort-Azcurra et al. (2012) mencionan que esta característica muestra mayor correlación con el genotipo que con aspectos ambientales y de manejo agronómico.

### Sólidos solubles totales (SST) y acidez titulable (AT)

La aplicación de etefón, prohexadiona de calcio, yodo y selenito de sodio no mostraron diferencia estadística significativa con respecto al testigo sobre la acumulación de SST en los frutos cosechados (Cuadro 5), cuyos valores estuvieron entre 4.15 y 5.15 °Brix. Dichos resultados coinciden con lo reportado por Islam et al. (2018), quienes señalan no haber encontrado cambios significativos en SST en tomate cherry 'Unicorn' cuando evaluaron aplicaciones individuales de yoduro de potasio (6.67 °Brix) y selenito de sodio (6.69 °Brix) a una concentración de 1 mg·L<sup>-1</sup> a las cinco semanas de la cosecha.

Entre los principales compuestos que proporcionan o favorecen la presencia del sabor característico en los productos hortofrutícolas se encuentran los azúcares solubles en forma de disacáridos (sacarosa) y monosacáridos (fructosa y glucosa) (Beckles, 2012). Sin embargo, otro factor menor es la síntesis y acumulación de ácidos orgánicos (cítrico, málico y tartárico), de los que predomina el ácido cítrico en el caso del tomate (Caicedo-Orjuela & Galvis-Venegas, 2012). En este sentido, la aplicación precosecha de 125 mg·L<sup>-1</sup> de selenito de sodio permitió obtener los frutos con la mayor AT (Cuadro 5). Mientras que Islam et al. (2018), al aplicar 1 mg·L<sup>-1</sup> de yoduro de potasio y de selenato de sodio en frutos de tomate cherry 'Unicorn', no encontraron variación estadística significativa en AT; sin embargo, sus valores reportados son mayores (1.03 y 1.04 % ácido cítrico para cada tratamiento, respectivamente). Adicionalmente, Lee et al. (2007) reportan valores más altos de AT en frutos de tomate 'Super momotaro' con aplicaciones de selenio de sodio a los 30 ddt; es decir, en condiciones muy similares al presente estudio.

### Licopeno

En el Cuadro 5 se puede observar que el contenido de licopeno de los frutos cosechados de plantas tratadas con biorreguladores mostraron, en la mayoría de los casos, un comportamiento similar en relación con el testigo, excepto los tratamientos con 50 mg·L<sup>-1</sup> de prohexadiona de calcio y 3 mL·L<sup>-1</sup> de yodo, cuya concentración de



## Conclusions

Among the physicochemical quality characteristics evaluated in saladette tomato fruits, weight, firmness and citric acid concentration showed a significant increase with the individual application of 1.6 mL·L<sup>-1</sup> of ethephon, 5 mL·L<sup>-1</sup> of iodine and 125 mg·L<sup>-1</sup> of sodium selenite, respectively. On the other hand, preharvest foliar application of bioregulatory compounds, especially those mentioned above, could be considered an interesting and important alternative within agronomic management in a protected agricultural production system, if one takes into account the concentration and phenological state of the crop.

## Acknowledgments

The authors thank the administrative, technical and economic support granted by *Universidad Autónoma Chapingo* (UACH), *Universidad Autónoma de Chihuahua* (UACH) and the *Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología* (CONACYT).

### End of English version

## References / Referencias

- Altintas, S. (2011). Effects of chlormequat chloride and different rates of prohexadione-calcium on seedling growth, flowering, fruit development and yield of tomato. *African Journal of Biotechnology*, 10(75), 17160-17169. doi: 10.5897/AJB11.2706
- Association of Official Analytical Chemists, International. (1990). *Methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. Washington, USA: AOAC. Retrieved from <https://archive.org/details/gov.law.aoac.methods.1.1990>
- Atta-Aly, M. A., Riad, G. S., Lacheene, Z. S., & Beltagy, A. S. (1999). Early application of ethephon extends tomato fruit cell division and increases fruit size and yield with ripening delay. *Journal of Plant Growth Regulation*, 18(1), 15-24. doi: 10.1007/PL00007041
- Barry, H. G., & Roux, S. L. (2010). Preharvest foliar sprays of prohexadione-calcium, a gibberellin biosynthesis inhibitor, induce chlorophyll degradation and carotenoid synthesis in Citrus rinds. *Hortscience*, 45(2), 242-247. Retrieved from <http://hortsci.ashspublications.org/content/45/2/242.full.pdf+html>
- Beckles, D. M. (2012). Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 63(1), 129-140. doi: 10.1016/j.postharvbio.2011.05.016
- Becvort-Azcurra, A., Fuentes-Lara, L. O., Benavides-Mendoza, A., Ramírez, H., Robledo-Torres, V., & Rodríguez-Mendoza, M. N. (2012). Aplicación de selenio en este carotenoide disminuyó significativamente (8.92 y 9.15 mg·100 g<sup>-1</sup>, respectivamente). En contraste, Ramírez et al. (2012), al aplicar 125, 175 y 200 mg·L<sup>-1</sup> de prohexadione de calcio en frutos de tomate 'Floradade' con 10 hojas verdaderas (crecimiento vegetativo), reportan un incremento de cuatro a ocho veces en comparación con el testigo. Estos autores encontraron su mejor resultado cuando evaluaron en frutos con hombros verdes (estado de madurez cuatro), es decir, cuando el fruto contaba con más de 30 % de coloración roja, pero sin superar 60 % (Choi et al., 1995). Altintas (2011) señala que la prohexadione puede estar implicada en la modificación de las rutas de síntesis de diversos metabolitos secundarios, entre ellos los carotenoides como el licopeno, e impactar en la capacidad antioxidante coadyuvando en el cuidado de la salud (Ramírez et al., 2008).
- De acuerdo con las condiciones de esta investigación y los resultados obtenidos, los biorreguladores que presentaron una respuesta mayor fueron ethephon, yodo y selenito de sodio, sin observarse diferencias significativas con relación a la prohexadione de calcio. Si se desea incrementar el proceso de división y elongación celular, y obtener frutos de mayor peso, se sugiere el uso de ethephon. Por el contrario, si lo que se pretende es disminuir la respiración y la producción de etileno, e incrementar la firmeza y vida de anaquel de los frutos, la aplicación de yodo puede ser una excelente alternativa. Dichas recomendaciones están relacionadas con que son productos relativamente económicos y están disponibles en las casas comerciales de productos agroquímicos.
- ## Conclusiones
- Entre las características de calidad fisicoquímica evaluadas en los frutos de tomate saladette, el peso, la firmeza y la concentración de ácido cítrico mostraron un incremento significativo con la aplicación individual de 1.6 mL·L<sup>-1</sup> de ethephon, 5 mL·L<sup>-1</sup> de yodo y 125 mg·L<sup>-1</sup> de selenito de sodio, respectivamente. Por otro lado, la aplicación foliar en pre cosecha de compuestos biorreguladores, en especial los mencionados anteriormente, podría considerarse una alternativa interesante e importante dentro del manejo agronómico en un sistema de producción de agricultura protegida, si se toma en cuenta la concentración y estado fenológico del cultivo.
- ## Agradecimientos
- Los autores agradecen el apoyo administrativo, técnico y económico otorgado por la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

*Fin de la versión en español*

- tomate: crecimiento, productividad y estado antioxidante del fruto. *Terra Latinoamericana*, 30(4), 291-301. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57325814001>
- Bohner, J., Hedden, P., Bora-Haber, E., & Bangerth, F. (1988). Identification and quantification of gibberellins in fruits of *Lycopersicon esculentum*, and their relationship to fruit size in *L. esculentum* and *L. pimpinellifolium*. *Physiology Plantarum*, 73(3), 348-353. doi: 10.1111/j.1399-3054.1988.tb00609.x
- Caffagni, A., Pecchioni, N., Meriggi, P., Bucci, V., Sabatini, E., Acciarri, N., Ciriaci, T., Pulcini, L., Felicioni, N., Beretta, M., & Milc, J. (2012). Iodine uptake and distribution in horticultural and fruit tree species. *Italian Journal of Agronomy*, 7(3), e32. doi: 10.4081/ija.2012.e32
- Caicedo-Orjuela, O., & Galvis-Venegas, J. A. (2012). Comportamiento de ácidos cítrico, ascórbico y málico en tomate frente a tres sistemas de conservación. *Avances Investigación en Ingeniería*, 9(1), 7-13. Retrieved from [http://www.unilibre.edu.co/revistaavances/avances%20\\_9-1/r9-1\\_art1.pdf](http://www.unilibre.edu.co/revistaavances/avances%20_9-1/r9-1_art1.pdf)
- Carrillo-López, A., & Yahia, E. M. (2014). Changes in color-related compounds in tomato fruit exocarp and mesocarp during ripening using HPLC-APCI<sup>+</sup>-mass Spectrometry. *Journal of Food Science and Technology*, 51(10), 2720-2726. doi: 10.1007/s13197-012-0782-0
- Casierra-Posada, F., & Aguilar-Avendaño, E. (2008). Calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez. *Agronomía Colombiana*, 26(2), 300-307. Retrieved from <http://www.redalyc.org/html/1803/180314732015/>
- Çetinbaş, M., Butar, S., Atasay, A., Isci, M., & Kocal, H. (2015). Reduction of apple vegetative shoot growth cv. Starcrimson Delicious/MM 111 with prohexadione calcium application does not decrease fruit quality. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 88, 259-263. doi: 10.5073/JABFQ.2015.088.038
- Choi, K., Lee, G., Han, Y. J., & Bunn, J. M. (1995). Tomato maturity evaluation using color image analysis. *Transactions of the ASAE*, 38(1), 171-176. doi: 10.13031/2013.27827
- Crisosto, C. H., Bremer, V., Norton, M., Ferguson, L., & Einhorn, T. (2010). Preharvest ethephon eliminates first crop figs. *HortTechnology*, 20(1), 173-178. Retrieved from <http://horttech.ashspublications.org/content/20/1/173.full.pdf+html>
- Dhall, R. K., & Singh, P. (2013). Effect of ethephon and ethylene gas on ripening and quality of tomato (*Solanum Lycopersicum* L.) during cold storage. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 3(6), 244. doi: 10.4172/2155-9600.1000244
- Figuerola-Cares, I. E., Cruz-Álvarez, O., Martínez-Damián, M. T., Rodríguez-Pérez, J. E., Colinas-León, M. T., & Valle-Guadarrama, S. (2018). Calidad nutricional y capacidad antioxidante en variedades y genotipos nativos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*, 35(1), 63-84. Retrieved from <http://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/23155/23203>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAOSTAT). (2016). Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations. Retrieved from <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- Inbaraj, B. S., & Chen, B. H. (2008). Carotenoids in tomato plants. In: Preedy, V., & Watson, R. (Eds.), *Tomatoes and tomato products: nutritional, medicinal and therapeutic properties* (pp. 133-164). USA: CRC Press, LLC.
- Islam, M. Z., Mele, M. A., Baek, J. P., & Kang, H. (2018). Iron, iodine and selenium effects on quality, shelf life and microbial activity of cherry tomatoes. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 46(2), 388-392. doi: 10.15835/nbha46211012
- Jiang, T., Wang, P., Yin, X., Zhang, B., Xu, C., Li, X., & Chen K. (2011). Ethylene biosynthesis and expression of related genes in loquat fruit at different developmental and ripening stages. *Scientia Horticulturae*, 130(2), 452-458. doi: 10.1016/j.scient.2011.07.019
- Kiferle, C., Gonzali, S., Holwerda, T. H., Real-Ibaceta, R., & Perata, P. (2013). Tomato fruits: a good target for iodine biofortification. *Frontier in Plant Science*, 4, 205. doi: 10.3389/fpls.2013.00205
- Landini, M., Gonzali, S., & Perata, P. (2011). Iodine biofortification in tomato. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 174(3), 480-486. doi: 10.1002/jpln.201000395
- Lee, G. J., Kang, B. K., Kim, T. I., & Kim, J. H. (2007). Effects of different selenium concentrations of the nutrient solution on the growth and quality of tomato fruit in hydroponics. *Acta Horticulturae*, 761, 443-448. doi: 10.17660/ActaHortic.2007.761.61
- Marschner, H. (1995). *Mineral nutrition of higher plants*. Amsterdam, Nederland: Academic Press.
- Marzouk, H. A., & Kassem, H. A. (2011). Improving yield, quality, and shelf life of Thompson seedless grapevine by preharvest foliar applications. *Scientia Horticulturae*, 130(2), 425-430. doi: 10.1016/j.scienta.2011.07.013
- Meland, M., & Kaiser, C. (2011). Ethephon as a blossom and fruitlet thinner affects crop load, fruit weight, fruit quality, and return bloom of 'Summerred' apple (*Malus domestica*) Borkh. *Hortscience*, 46(3), 432-438. Retrieved from <http://hortsci.ashspublications.org/content/46/3/432.full.pdf+html>
- Mohammed-Al-Saif, A., Issa-Alebbidi, A., Sultan-Al-Obeed, R., & Saad-Soliman, S. (2017). Preharvest ethephon spray on fruit quality and increasing the rate of ripening of date palm fruit (*Phoenix dactylifera* L.) cv. Helali. *Progress in Nutrition*, 19(1), 97-103. doi: 10.23751/pn.v19i1.4741
- Montoya-Holguin, C., Cortés-Osorio, J. A., & Chaves-Osorio, J. A. (2014). Sistema automático de reconocimiento de frutas basado en visión por computador. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 22(4), 504-516. doi: 10.4067/S0718-33052014000400006
- Pezzarossa, B., Rosellini, I., Borghesi, E., Tonutti, P., & Malorgio, F. (2014). Effects of Se-enrichment on

- yield, fruit composition and ripening of tomato (*Solanum lycopersicum*) plants grown in hydroponics. *Scientia Horticulturae*, 165, 106-110. doi: 10.1016/j.scienta.2013.10.029
- Ramírez, H., Herrera-Gámez, B., Méndez-Quiroa, Y. M., Benavides-Mendoza, J. A., de la Cruz-Breton, J. A., Álvarez-Mares, V., Rancaño-Arriola, J. H., & Villarreal-Quintanilla, J. A. (2008). Prohexadione de calcio disminuye el contenido de giberelinas endógenas en ápices de tomate saladette y chile pimienta. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 14(2), 193-198. doi: 10.5154/r.chsh.2007.12.058
- Ramírez, H., Leza, P. C., Rivera, C. E., Amado, C., Benavides, A., Herrera, B., Martínez, A., & Méndez, O. (2012). Prohexadione-Ca reduces plant height, improves yield and fruit quality on solanaceous crops. *Acta Horticulturae*, 936, 457-462. doi: 10.17660/ActaHortic.2012.936.61
- Sadler, G., Davis, J., & Dezman, D. (1990). Rapid extraction of lycopene and b-carotene from reconstituted tomato paste and pink grapefruit homogenates. *Journal of Food Science*, 55(5), 1460-1461. doi: 10.1111/j.1365-2621.1990.tb03958.x
- Saure, M. C. (2014). Why calcium deficiency is not the cause of blossom-end rot in tomato and pepper fruit - a reappraisal. *Scientia Horticulturae*, 74, 151-154. doi: 10.1016/j.scienta.2014.05.020
- Schmitzer, V., Veberic, R., & Stampar, F. (2012). Prohexadione-Ca application modifies flavonoid composition and color characteristics of rose (*Rosa hybrida* L.) flowers. *Scientia Horticulturae*, 146, 14-20. doi: 10.1016/j.scienta.2012.07.035
- Shinozaki, Y., Hao, S., Kojima, M., Sakakibara, H., Ozeki-Iida, Y., Zheng, Y., Fei, Z., Zhong, S., Giovannoni, J. J., Rose, J. K., Okabe, Y., Heta, Y., Ezura, H., & Ariizumi, T. (2015). Ethylene suppresses tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit set through modification of gibberellin metabolism. *The Plant Journal*, 83(2), 237-251. doi: 10.1111/tpj.12882
- Sokal, R. R., & Rohlf, F. J. (1995). *Biometry the principles and practice of statistics in biological research*. New York, USA: W.H. Freeman.
- Statistical Analysis System (SAS Institute Inc.). (2002). *Software product support manual, ver. 9.0*. Cary, N. C.: Author.
- Steiner A. A. (1984). The universal nutrient solution. *Proceedings sixth international congress on soilless culture*, 633-650.
- Trueman, S. J., McConchie, C. A., & Turnbull, C. G. N. (2002). Ethephon promotion of crop abscission for unshaken and mechanically shaken macadamia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 42(7), 1001-1008. doi: 10.1071/EA01164
- Uchanski, M. E., & Blalock, A. (2013). Ethephon improved pigmentation but had no effect on cayenne pepper fruit yield in southern New Mexico. *Hortscience*, 48(6), 738-741. Retrieved from <http://hortsci.ashspublications.org/content/48/6/738.full.pdf+html>
- Voss, D. H. (1992). Relating colorimeter measurement of plant color to the royal horticultural society color charts. *HortScience*, 27(12), 1256-1260. Retrieved from <http://hortsci.ashspublications.org/content/27/12/1256.full.pdf>

