

Efecto de biorreguladores del crecimiento sobre indicadores de calidad fisicoquímica en frutos de tomate cultivados en invernadero

R. Cano-Hernández¹, M.T. Martínez-Damián^{1,*}, E.C. Moreno-Pérez¹, F. Sánchez-Del Castillo¹, O. Cruz-Álvarez² y M.J. Rodríguez-Roque²

¹ Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia, ctra. México-Texcoco, km 38,5. C.P. 56230, Texcoco de Mora, Estado de México, México

² Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Avda. Pascual Orozco s/n, Campus 1, Santo Niño. C.P. 31350, Chihuahua, México

Resumen

En el ciclo agrícola primavera-verano (abril-agosto) del año 2016 y en un invernadero perteneciente a la Universidad Autónoma Chapingo en México, se evaluó el efecto de la aplicación de biorreguladores del crecimiento (etefón, prohexadiona de calcio, yodo y selenito de sodio) con diferentes concentraciones sobre algunos indicadores de calidad en frutos de tomate. El diseño experimental fue completamente al azar. Los indicadores de calidad de fruto evaluados fueron color, peso, diámetro ecuatorial y polar, índice de redondez, firmeza, sólidos solubles totales, acidez titulable y contenido en licopeno. Se encontró que la aplicación de yodo afectó significativamente los componentes de color como la brillantez y tonalidad, así como al contenido de sólidos solubles totales. Por otro lado, la aplicación de prohexadiona de calcio incrementó el peso de fruto y el contenido de licopeno. Adicionalmente, el selenito de sodio resultó importante para la obtención de frutos con mayor firmeza y acidez. En general el uso de biorreguladores de crecimiento puede ser una alternativa útil para mejorar los indicadores fisicoquímicos de calidad del fruto que favorecen el manejo poscosecha y la vida útil del tomate.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum* L., activador fisiológico, manejo agronómico, firmeza, índice de redondez, sólidos solubles totales, licopeno.

Effect of growth bioregulators on physicochemical quality indicators in tomato fruits grown in greenhouse

Abstract

In the spring-summer agricultural cycle (April-August) of 2016 and in a greenhouse belonging to the Chapingo Autonomous University in Mexico, the effect of the application of growth bioregulators (ethephon, calcium prohexadione, iodine and sodium selenite) was evaluated with different concentrations on some quality indicators in tomato fruits. The experimental design was completely random. The fruit quality indicators evaluated were color, weight, equatorial and polar diameter, roundness index, firmness, total soluble solids, titratable acidity and lycopene content. It was found that the application of iodine significantly affected the color components such as brightness and tonality, as well as the content of total so-

* Autor para correspondencia: teremd13@gmail.com

Cita del artículo: Cano-Hernández R, Martínez-Damián MT, Moreno-Pérez EC, Sánchez-del Castillo F, Cruz-Álvarez O, Rodríguez-Roque MJ (2019). Efecto de biorreguladores del crecimiento sobre indicadores de calidad fisicoquímica en frutos de tomate cultivados en invernadero. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 115(2): 120-133. <https://doi.org/10.12706/itea.2018.032>

luble solids. On the other hand, the application of calcium prohexadione increased the fruit weight and the lycopene content. Additionally, sodium selenite was important for obtaining fruits with greater firmness and acidity. In general, the use of growth bioregulators can be a useful alternative to improve physicochemical indicators of fruit quality that favor postharvest handling and tomato life.

Keywords: *Solanum lycopersicum* L., physiological activator, agronomic management, firmness, roundness index, total soluble solids, lycopene.

Introducción

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las hortalizas con mayor superficie cultivada a nivel mundial, representa el 30% de la producción hortícola (Cuesta y Mondaca, 2014) y es un ingrediente alimentario esencial, tanto en fresco como procesado (Kiferle et al., 2013). Es importante señalar que, a pesar del incremento en la productividad de esta especie hortícola (Casierra-Posada y Aguilar-Avenidaño, 2008), es muy frecuente la presencia de una serie de problemas poscosecha relacionados con daños mecánicos, condiciones inadecuadas de manipulación y almacenamiento, transporte y empaques incorrectos, así como por las características fisiológicas del fruto (Urrieta-Velázquez et al., 2012; Carrillo-López y Yahia, 2014).

El nivel de aceptación entre los diversos productos hortofrutícolas se encuentra ampliamente correlacionado con sus características físicas externas (color, firmeza y apariencia visual) (Beckles, 2012), y en el caso del fruto de tomate, su mayor consumo se presenta cuando su epidermis ha cambiado a una tonalidad roja, pero sin observarse cambios excesivos en su textura (Cuesta y Mondaca, 2014), es por ello que el productor considera importante desde el punto de vista técnico y comercial, mantener o retrasar estos cambios el mayor tiempo posible (De la Rosa-Rodríguez et al., 2016).

El tomate se caracteriza por ser un fruto pericarpio, como consecuencia de su elevada producción interna de etileno, incrementando su sensibilidad a la aplicación exógena

de este compuesto (Jiang et al., 2011); por lo que se sugiere el uso de temperaturas de almacenamiento entre 10 y 12 °C (Padrón-Pereira et al., 2012), por su efecto directo sobre la disminución del contenido de clorofila e incremento de licopeno, liberación de volátiles e hidrólisis de pectinas y hemicelulosas, así como en el desarrollo de pudriciones (López-Camelo et al., 2003; Figueroa-Cares et al., 2018), sin embargo, su uso es limitado, debido a que los mejores resultados se observan durante dos semanas, y el costo por el mantenimiento de infraestructura es elevado (Becvort-Azurra et al., 2012).

En la agricultura moderna, se ha incrementado el uso de reguladores del crecimiento (fitohormonas) de origen natural o sintético, lo cual se asocia con la realización de diversas prácticas agronómicas (control del crecimiento vegetativo, cuajado de fruto, incremento brotación de yemas florales, entre otros) (Ramírez et al., 2010; Ozbay y Ergun, 2015) y son una herramienta complementaria que coadyuva al incremento en la productividad de los cultivos (Ramírez et al., 2008), no obstante, existen otros compuestos (bioreguladores) que aplicados en bajas concentraciones promueven, inhiben o modifican el comportamiento de los procesos morfológicos y fisiológicos en las plantas (Dhall y Singh, 2013; Ramírez et al., 2017), donde la maduración es uno de los procesos fisiológicos que más atención recibe, por su enorme impacto sobre las características intrínsecas de calidad de los productos hortofrutícolas durante su manejo poscosecha (Jiang et al., 2011; De la Rosa-Rodríguez et al., 2016).

En tomate existen diversas investigaciones relacionadas con la aplicación de biorreguladores del crecimiento (Ramírez et al., 2012; Zhu et al., 2016; Guardado-Félix et al., 2017), en las que se abarca el uso de retardantes del crecimiento como la prohexadiona de calcio y etefón; activadores fisiológicos (yodo) y microminerales (selenito de sodio), en la que evalúa desde la interacción con la actividad hormonal, crecimiento vegetativo, homogeneidad en la cosecha, así como el desarrollo y maduración del fruto, no obstante, su evaluación se ha realizado de manera individual y con poca o nula información relacionada con el efecto conjunto que provocan sobre el proceso de maduración y el consiguiente deterioro de la calidad del fruto.

El proceso de maduración es primordial debido a que determina las características relacionadas con la aceptación del consumidor, así como el tiempo de consumo del producto, siendo la madurez y el reblandecimiento los principales atributos de perechibilidad en las frutas climatéricas, dado que, al cabo de pocos días, se consideran no comestibles debido a la sobremaduración (Cuesta y Mondaca, 2014; Ozbay y Ergun, 2015). Es por todo lo anterior, que el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la aplicación de biorreguladores del crecimiento (etefón, prohexadiona de calcio, yodo y selenito de sodio) con diferentes concentraciones sobre algunos indicadores fisicoquímicos de calidad en frutos de tomate.

Material y métodos

Biorreguladores de crecimiento ensayados

Se emplearon cuatro productos químicos comerciales con actividad biorreguladora del crecimiento, etefón (Ethrel 240[®], Bayer CropScience LP, USA), prohexadiona de calcio (Apogee[®], BASF, USA), yodo (Q-2000 Plus[®],

Quimcasa de México, S. A. de C.V., México) y selenito de sodio (Selenito de Sodio 45%[®], Retorte, Alemania). De acuerdo con los fabricantes, estos productos son descritos como reguladores de crecimiento (etefón, y prohexadiona de calcio), activadores fisiológicos (yodo) y microminerales (selenito de sodio).

Material vegetal

Se utilizó el híbrido comercial de tomate de crecimiento indeterminado "Imperial 643" tipo bola (Enza Zaden Company). El ensayo se realizó durante los meses de abril-agosto de 2016 en un invernadero ubicado en el Campo Experimental "San Martín" de la Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, México (19° 29' 23" N y 98° 53' 24" O) a una altitud de 2240 metros sobre el nivel del mar y temperatura media anual de 15,9 °C.

Manejo del cultivo

La siembra se realizó en bandejas de poliestireno de 200 alveolos, utilizando como sustrato una mezcla de turba y vermiculita (90:10). Transcurridos 35 días se llevó a cabo el trasplante en canaletas con dimensiones de 25x1x0,6 m, rellenas con tezontle rojo con tamaño de partícula de 20-30 mm de diámetro, con una densidad de 8 plantas·m⁻² conducidas a un solo tallo. El suministro de los elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plántulas se efectuó de acuerdo con los parámetros que establece la solución de Steiner y complementada con micronutrientes (Steiner, 1984); donde el volumen de riego aplicado fue de 0,30-3,0 litros por planta de acuerdo a cada etapa fenológica y el control de temperatura fue manual, es decir, con la apertura y cierre de las ventanas laterales protegidas con malla antiáfidos. Para la realización de los análisis de laboratorio correspondientes, los frutos que se cosecharon fueron aquellos ubicados entre el segundo y

quinto racimo en el estado de madurez seis, es decir, cuando el fruto posee 90% de coloración roja (Choi et al., 1995).

Diseño experimental

El experimento se estableció con un diseño experimental completamente al azar con diez repeticiones y la unidad experimental consistió de 8 plantas (1 m²), en la que se realizaron

dos aplicaciones foliares de biorreguladores de crecimiento a los 45 y 60 días después del trasplante, cuya concentración se describe en la Tabla 1, donde al tratamiento testigo no se le realizó ninguna aplicación. Con un fruto como unidad experimental y 10 repeticiones se evaluó el color, peso, diámetro polar y ecuatorial e índice de redondez del fruto. Por otro lado, para firmeza, sólidos solubles totales, acidez titulable y licopeno se emplearon 3 repeticiones con 2 frutos por repetición.

Tabla 1. Biorreguladores de crecimiento aplicados en frutos de tomate cultivados en invernadero.
Table 1. Growth regulators applied in tomato fruits grown in greenhouse.

Biorreguladores de crecimiento	Concentración			Ingrediente activo
Etefón (ml·l ⁻¹)	0,8	1,2	1,6	Etefón 27%
[∧] Pro-Ca (mg·l ⁻¹)	50	100	200	Calcio 3-oxido-5-oxo-4-propionilciclohex-3-enecarboxílico
Yodo (ml·l ⁻¹)	1	3	5	Yodo libre 1,5%
SS (mg·l ⁻¹)	75	125	175	Selenito de sodio 45%

[∧]Pro-Ca: prohexadiona de calcio; SS: selenito de sodio.

Indicadores evaluados

Color del fruto

Se determinó sobre la epidermis en la parte ecuatorial del fruto mediante espectrofotómetro portátil de esfera X-Rite (SP-62[®], USA), obteniendo las coordenadas de color CIE 1976 (L*a*b) (Voss, 1992). Posteriormente se analizó las diferencias entre los tratamientos en las otras coordenadas CIELab; la cromaticidad [$C^* = (a^2+b^2)^{1/2}$], ángulo de tonalidad o "Hue" [$h^* = \arctan(b^*a^{-1})$] y la luminosidad o brillantez (L*).

Peso de fruto

Se obtuvo mediante una balanza electrónica digital Scout[®] Pro SP602 (OHAUS, USA), con capacidad de 0,6 kg y aproximación de 0,01 g. Los resultados se expresaron en gramos (g).

Diámetro polar y ecuatorial

Se determinaron con la ayuda de pie de rey modelo CAL-6MP de acero con longitud de 6" (Truper[®], México), sobre el plano polar y ecuatorial del fruto. Los resultados se expresaron en mm.

Índice de redondez

Con los datos de diámetro polar y ecuatorial, el índice de redondez se calculó con la siguiente expresión: $IR = \frac{dp}{de}$, donde dp y de son el diámetro polar y ecuatorial, respectivamente. Los resultados se reportan de forma adimensional.

Firmeza

Se determinó en la zona ecuatorial del fruto, en la que se empleó un texturómetro digital Compact Gauge (Mecmesin CE®, USA) fijado en una mesa con puntal en forma de cono con diámetro y altura de 9 mm, registrándose la lectura en Newtons (N), que es la fuerza aplicada hasta la penetración del puntal.

Sólidos solubles totales

Se cuantificaron con refractómetro digital portátil PAL-1 (ATAGO®, USA), el cual utiliza un rango de 0-53 °Brix.

Acidez titulable

Se determinó de acuerdo con la metodología propuesta por la AOAC (AOAC, 1990). La acidez de 20 g de pulpa se valoró con una solución de Hidróxido de Sodio a una concentración 0,1 N, en la que se empleó fenolftaleína al 1% como indicador. Los resultados se reportaron en% de ácido cítrico (ácido predominante en la pulpa de tomate).

Licopeno

La concentración de licopeno fue cuantificada según el método modificado por Sadler et al. (1990): se homogeneizaron 20 g de pulpa con agua destilada, las mezclas obtenidas se colocaron en frascos cubiertos con papel aluminio y secadas a 38 °C. Se colocó 0,1 g de la pasta en tubos de ensayo cubiertos con papel aluminio, se les adicionaron 30 ml de una mezcla de hexano/etanol/acetona

en la proporción 2:1:1 y se agitaron durante 10 minutos. Se adicionaron 18 ml de agua destilada y se volvió a agitar durante 5 minutos, separándose la mezcla en dos fases, acuosa y orgánica. Con matraces de separación se tomó y midió el volumen de la fase orgánica, determinando el contenido de licopeno mediante espectrofotometría a una longitud de onda de 470 nm. Se utilizó la fórmula de Inbaraj y Chen (2008) y los resultados se expresaron en $mg \cdot 100 g^{-1}$ de peso fresco.

Análisis estadístico

A los datos obtenidos se les verificó la normalidad y homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov y Bartlett, respectivamente (Sokal y Rohlf, 1995). Posteriormente se realizó el análisis de varianza de clasificación simple y comparación múltiple de medias a través de la prueba Tukey a una probabilidad del 5% ($p \leq 0,05$), con la ayuda del paquete de análisis estadístico SAS v9.0 (SAS Institute, 2004).

Resultados y discusión

Color

Brillantez

De acuerdo con la comparación de medias de los valores correspondientes con el componente brillantez (L^*) de color, se pudo observar significancia entre los tratamientos aplicados (Tabla 2). En el tratamiento de $1 ml \cdot l^{-1}$ de yodo (Y1) se encontraron los frutos con mayor valor medio de L^* (37,87), lo que de acuerdo con Padrón-Pereira et al. (2012) coincide con la presencia de frutos con tonalidad roja intensa y adecuados para su consumo en fresco, no obstante, su comportamiento fue similar a lo mostrado cuando se aplicaron $1,6 ml \cdot l^{-1}$ de etefón (E3), 50 y $200 mg \cdot l^{-1}$

Tabla 2. Color, peso y firmeza de frutos de tomate sometidos a tratamientos con biorreguladores.
 Table 2. Color, weight and firmness of tomato fruits subjected to treatments with bioregulators.

Tratamiento	Color			Peso de fruto (g)	Firmeza (N)
	Brillantez (L*)	Cromaticidad (C*)	Hue (°) (h*)		
E1	31,30 b	30,75	63,24 b	115,10 bac	1,26 dc
E2	32,86 ba	31,25	59,16 b	138,00 ba	1,06 dc
E3	32,13 b	33,71	60,59 b	138,45 ba	0,96 d
P-Ca 1	33,36 ba	34,71	68,01 ba	101,98 bc	1,11 dc
P-Ca 2	32,48 b	33,61	64,75 b	102,68 bc	1,37 dc
P-Ca 3	32,73 ba	34,84	66,51 b	150,85 a	2,56 ab
Y1	37,87 a	34,11	85,54 a	104,20 bc	1,69 dc
Y2	34,43 ba	30,04	69,64 ba	119,51 bac	1,68 dc
Y3	32,29 b	31,50	72,60 ba	142,72 ba	1,67 dc
SS1	29,73 b	33,28	66,85 b	77,72 c	1,46 dc
SS2	32,60 b	31,87	61,85 b	106,68 bac	1,77 bc
SS3	31,50 b	34,02	65,60 b	112,14 bac	2,75 a
T	31,61 b	32,09	60,29 b	98,45 bc	1,32 dc
DMSH	5,19 b	8,76	18,63	45,90	0,79

Etefón = E(ml·l⁻¹): E1(0,8); E2(1,2); E3(1,6). Prohexadiona de calcio = P-Ca(mg·l⁻¹): P-Ca1(50); P-Ca2(100); P-Ca3(200). Yodo = Y(ml·l⁻¹): Y1(1); Y2(3); Y3(5). Selenito de sodio = SS(mg·l⁻¹): SS1(75); SS2(125); SS3(175). Testigo = T. DMSH: diferencia mínima significativa honesta. *Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

de prohexadiona de calcio (P-Ca1 y P-Ca3) y 3 ml·l⁻¹ de yodo (Y2) siendo la dosis baja e intermedia de este último las que presentaron los valores más altos para esta variable. En este sentido Casierra-Posada y Aguilar-Avenidaño (2008) y Carrillo-López y Yahia (2014) indican que, durante el proceso de maduración del fruto de tomate, el primer compuesto sintetizado es el fitoeno (inoloro) para posteriormente dar lugar a la síntesis y

acumulación de licopeno (rojo), momento que coincide con la disminución de la brillantez del color rojo (Becvort-Azcurrea et al., 2012). El comportamiento de los valores observados para frutos coincide con el estudio de López-Camelo et al. (2003), donde, en estudios de tomate variedad 'Tommy', los valores de L* no se vieron afectados por los tratamientos de reguladores del crecimiento como el etefón.

Cromaticidad (C*) y Hue (h*)

La cromaticidad y ángulo hue evaluados como pureza y tonalidad de color, respectivamente, son de manera frecuente considerados por el consumidor final como parámetros de calidad durante la selección de cualquier producto hortofrutícola. En la Tabla 2 se muestran los datos correspondientes con la pureza de color (Cromaticidad C*) y ángulo hue (tonalidad de color h*). La cromaticidad no presentó variación significativa ($P \leq 0,05$), sus valores fluctuaron entre 30,04 y 34,84. De acuerdo con Padrón-Pereira et al. (2012), los valores de este componente de color indican propiamente el grado de pureza de cierto color, y su valor va de 0 a 100, de donde se desprende que nuestros datos son bajos y representan un tercio del valor máximo deseado. Por otro lado, en tomates con el tratamiento de $1 \text{ ml}\cdot\text{l}^{-1}$ de yodo (Y1) se observó el valor estadísticamente más alto de tonalidad de color del fruto ($h^* = 85,54^\circ$), sin embargo, no superó a lo mostrado por el tratamiento de $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ de prohexadiona de calcio (P-Ca1), así como al resto de los tratamientos de yodo, Y2 y Y3 (3 y $5 \text{ ml}\cdot\text{l}^{-1}$), con valores de $68,0^\circ$; $69,64^\circ$ y $72,60^\circ$, respectivamente. En contraste García-Osuna et al. (2014), en un estudio realizado en *Opuntia ficus-indica* L., mencionan no haber encontrado interacción entre la aplicación de yodo a una concentración de 10^{-4} M y el desarrollo de las características de color. Por su parte, Kiferle et al. (2013) al evaluar la calidad de fruto de tomate 'SUN7705' a la aplicación externa de yoduro de potasio (KI) y yodato de potasio (KIO_3) mencionan no haber encontrado una alteración en la apariencia visual (entre ellos el color), así como tamaño y forma del fruto. La variación entre resultados puede estar asociado según Ramírez et al. (2008) con la duración del período de tiempo entre la aplicación del producto químico y la evaluación de su efecto, ya que por ejemplo la prohexadiona de calcio requiere un mínimo de 8 horas para una máxima absorción (Ramírez et al., 2012).

Peso de fruto

Con la aplicación de $200 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ de prohexadiona de calcio (P-Ca3) se pudieron encontrar diferencias ($p \leq 0,05$) con relación al peso de fruto con un valor medio de $150,85 \text{ g}$, no obstante, con excepción del tratamiento Y1 [la dosis baja de yodo ($1 \text{ ml}\cdot\text{l}^{-1}$)], SS1 (selenito de sodio a $75 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) y testigo, su comportamiento fue similar con el resto de tratamientos aplicados (Tabla 2). En contraste, Chang (2016) en un estudio realizado con relación a la influencia de prohexadiona de calcio sobre el crecimiento y calidad de fruto de guayaba 'Jen-Ju Bar' no reportan efecto sobre el peso de fruto, lo que según Privé (2006) puede estar relacionado con la inhibición en el crecimiento de brotes y la constante competencia entre el crecimiento vegetativo y reproductivo, donde la aplicación de riego puede reducir la eficacia de este tratamiento (Ramírez et al., 2008). En frutos como la uva (*Vitis vinifera* L.) 'Shiraz' Ramírez et al. (2017) no encontraron variación con respecto al peso de fruto, sin embargo, estos mismos autores indican que la etapa fenológica en que la P-Ca se aplica si puede influir en esta característica física del fruto. Al respecto, Ramírez et al. (2012) indican que cuando la aplicación de prohexadiona de calcio se realiza durante el período de floración, se presenta un bloqueo en la síntesis de giberelinas lo que induce una reducción en el tamaño y peso del producto cosechado.

Firmeza

La aplicación de $175 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ de selenito de sodio (SS3) y $200 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ de prohexadiona de calcio (P-Ca3) indujeron la producción de frutos con la mayor firmeza entre todos los biorreguladores utilizados, con valores medios de $2,75$ y $2,56 \text{ N}$, respectivamente (Tabla 2). Adicionalmente, el tratamiento de etefón ($1,6 \text{ ml}\cdot\text{l}^{-1}$) fue el que reportó el valor más bajo ($0,96 \text{ N}$). Por su parte, Carra et al. (2017) in-

dican en la variedad de peral 'Smith' que la aplicación de prohexadiona de calcio no afectó al comportamiento de la firmeza de los frutos almacenados en condiciones de frío. Urrieta-Velázquez et al. (2012) mencionan que por sus características morfológicas, el fruto de tomate presenta valores de firmeza que son considerados bajos con respecto a frutos de otras especies, sin embargo, pueden incrementarse mediante aspersiones foliares de calcio o cosechando en las primeras etapas de maduración y que esto permita soportar el manejo poscosecha (Casierra-Posada y Aguilar-Avedaño, 2008; Ramírez et al., 2010), tal como se observó en el comportamiento encontrado para los tratamientos de prohexadiona de calcio.

Diámetro ecuatorial

La determinación del diámetro ecuatorial del fruto se considera de primordial relevancia, debido a que es una característica que influye directamente sobre el patrón característico de cada variedad de productos hortofrutícolas (Figuroa-Cares et al., 2018). En este trabajo, la aplicación de 200 mg·l⁻¹ de prohexadiona de calcio (P-Ca3) mostró el valor más alto (70,56 mm) con relación a esta característica del fruto, el cual superó a los tratamientos de selenito de sodio (SS1, SS2 y SS3) y al testigo (T), cuyos valores fluctuaron entre 56,34 y 62,12 mm (Tabla 3). Por su parte, Ramírez et al. (2017) indican no haber encontrado valores significativos relacionados con el diámetro de fruto de uva (*Vitis vinifera* L.) 'Shiraz' con la aplicación de 100 a 300 mg·l⁻¹ de prohexadiona de calcio. Comportamiento similar es reportado por Carra et al. (2017), al aplicar dosis de prohexadiona de calcio que fluctuaron entre 100-400 mg·l⁻¹ de prohexadiona de calcio en pera (*Pyrus calleryana* Decne) variedad 'Smith'.

Diámetro polar

Como se observa en la Tabla 3, la aplicación de 5 ml·l⁻¹ de yodo (Y3) favoreció un incremento significativo en el diámetro polar de los frutos con 54,23 mm, sin embargo, con excepción de la dosis baja de selenito de sodio (SS1) (75 mg l⁻¹) (45,64 mm) y al testigo (T) (48,35 mm), no superó estadísticamente al resto de los tratamientos, cuyos valores fluctuaron entre 48,86 y 52,71 mm. En este sentido, Cortés-Flores et al. (2016) indican que el yodo no tiene una función específica en las plantas, no obstante, induce una mayor presencia de antioxidantes y aporta un aumento en la tolerancia a algunos factores adversos. Por su parte, Becvort-Azcurra et al. (2012) al realizar la aplicación de selenio (10 y 20 mg·l⁻¹) en plantas de tomate y evaluar su efecto sobre su productividad, reportan un incremento en la concentración de selenio en hoja y tallo, sin embargo, no encontraron un incremento en la producción de fruto y específicamente un efecto sobre sus características físicas (tamaño y forma). En *Vitis vinifera* L., variedad 'Shiraz', Ramírez et al. (2017) indican que la aplicación de retardantes de crecimiento, como la prohexadiona de calcio, no afecta el diámetro polar del fruto, contrario a lo que se observa en este estudio.

Índice de redondez

El uso de biorreguladores del crecimiento no provocó variación estadística significativa ($p \leq 0,05$) sobre el índice de redondez (Tabla 3) y todos los frutos presentaron forma achatada, es decir, con índice de redondez que fluctuó entre 0,74 y 0,81 (<1). En contraste, Figuroa et al. (2018) reportan haber encontrado variación en este indicador, al ser determinado en frutos de tomate del tipo arriñonado y cereza, no obstante, esta variación

Tabla 3. Diámetro ecuatorial y polar e índice de redondez de frutos de tomate sometidos a tratamientos con biorreguladores.

Table 3. Equatorial and polar diameter and roundness index of tomato fruits subjected to treatments with bioregulators.

Tratamiento	Diámetro ecuatorial (mm)	Diámetro polar (mm)	Índice de redondez
E1	65,30 ba	52,03 ba	0,80
E2	62,90 bac	49,28 bac	0,78
E3	69,23 ba	51,69 ba	0,75
P-Ca1	62,83 bac	49,48 bac	0,79
P-Ca2	62,79 bac	50,16 bac	0,80
P-Ca3	70,56 a	52,71 ba	0,74
Y1	63,35 bac	48,86 bac	0,77
Y2	63,75 bac	49,85 bac	0,78
Y3	68,52 ba	54,23 a	0,79
SS1	56,34 c	45,64 c	0,81
SS2	61,92 bc	49,93 bac	0,80
SS3	62,12 bc	50,73 bac	0,81
T	61,53 bc	48,35 bc	0,79
DMSH	8,14	5,87	0,07

Etefón = E(ml·l⁻¹): E1(0,8); E2(1,2); E3(1,6). Prohexadiona de calcio = P-Ca(mg·l⁻¹): P-Ca1(50); P-Ca2(100); P-Ca3(200). Yodo = Y(ml·l⁻¹): Y1(1); Y2(3); Y3(5). Selenito de sodio = SS(mg·l⁻¹): SS1(75); SS2(125); SS3(175). Testigo = T. DMSH: diferencia mínima significativa honesta. Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

según los autores se asoció con las características morfológicas de cada tipo de tomate, más que por efecto ambiental. En este sentido, Montoya-Holguin et al. (2014) indican que al ser una variable compuesta por variables relativamente estables como son el diámetro ecuatorial y polar, su comportamiento se encuentra poco influenciado por el ambiente, sino más bien por el genotipo.

Sólidos solubles totales

Como se aprecia en el Tabla 4, el comportamiento del contenido de sólidos solubles totales fue similar entre tratamientos, con excepción de los frutos sometidos con 0,8 ml·l⁻¹ de etefón (E1) que fue el valor más bajo con 4,41 °Brix, no obstante, se precisa cierto valor sobresaliente con la aplicación de yodo a

Tabla 4. Concentración de sólidos solubles, acidez titulable y licopeno en frutos de tomate sometidos a tratamientos con biorreguladores.

Table 4. Concentration of soluble solids, titratable acidity and lycopene in tomato fruits subjected to treatments with bioregulators.

Tratamiento	Sólidos solubles totales (°Brix)	Acidez titulable (% ácido cítrico)	Licopeno (mg·100 g ⁻¹)
E1	4,41 b	0,17 g	9,44 i
E2	4,64 ba	0,18 gf	9,80 ih
E3	4,68 ba	0,23 e	14,99 ed
P-Ca1	4,53 ba	0,28 cb	20,61 a
P-Ca2	4,57 ba	0,26 cd	10,61 h
P-Ca3	4,47 ba	0,29 b	13,81 gf
Y1	4,88 ba	0,19 gf	9,91 ih
Y2	4,94 a	0,20 f	19,58 b
Y3	4,80 ba	0,24 ed	19,32 b
SS1	4,60 ba	0,18 gf	14,33 ef
SS2	4,62 ba	0,36 a	15,83 d
SS3	4,78 ba	0,26 cd	12,99 g
T	4,55 ba	0,1 gf	17,48 c
DMSH	0,51	0,02	0,91

Etefón = E(ml·l⁻¹): E1(0,8); E2(1,2); E3(1,6). Prohexadiona de calcio = P-Ca(mg·l⁻¹): P-Ca1(50); P-Ca2(100); P-Ca3(200). Yodo = Y(ml·l⁻¹): Y1(1); Y2(3); Y3(5). Selenito de sodio = SS(mg·l⁻¹): SS1(75); SS2(125); SS3(175). Testigo = T. DMSH: diferencia mínima significativa honesta. Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

una concentración de 3 ml·l⁻¹ (Y2) con 4,96 °Brix. En contraste, Kiferle *et al.* (2013) indican que al evaluar el efecto de la concentración de yoduro de potasio (KI) y yodato de potasio (KIO₃) con dosis que fluctuaron entre 1-5,0 mM y 0,5-2,0 mM, respectivamente, sobre la calidad de fruto de tomate 'SUN7705', encontraron una disminución progresiva en la concentración de °Brix, sin embargo, también mencionan una ligera variación en su concentración al final de la evaluación producto de la translocación del K⁺ vía floema. En contraste, Dhall y Singh (2013) al evaluar

diferentes concentraciones de etefón (500, 1000 y 1500 ppm) reportan un incremento lento pero constante en el contenido de sólidos solubles totales durante el proceso de maduración, no obstante, al ser los azúcares un componente primordial en el proceso de respiración, ésta acumulación de sólidos solubles totales decayó.

Acidez titulable

La concentración de ácidos orgánicos durante el proceso de maduración constituye uno de

los principales indicativos del sabor característico de los productos hortofrutícolas. En este trabajo la aplicación de $125 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ de selenito de sodio (SS2) ha mostrado la mayor acumulación de ácido cítrico de los frutos con un valor medio de 0,36% de ácido cítrico (Tabla 4). Los niveles de acidez observados en los diferentes tratamientos fluctuaron entre 0,1% y 0,29% de ácido cítrico, siendo el testigo el que presentó la menor acidez. Con respecto a estos resultados, Smole et al. (2016) indican que el selenito de sodio al ser absorbido, es transformado en diferentes formas orgánicas de selenio y acumulado en las raíces, como consecuencia de su baja movilidad en xilema, por lo que estos resultados corroboran lo reportado en otros trabajos, donde se menciona que tanto la aplicación vía foliar y a través de la solución nutritiva, se correlaciona con el incremento de su concentración en tejido en diversos cultivos (Ramos et al., 2010; Guardado-Félix et al., 2017), entre ellos el tomate (Zhu et al., 2016). En este sentido, Palencia et al. (2016) en fresa 'Splendor' reportan un incremento significativo de los valores medios de acidez titulable, cuando se realizaron aplicaciones de selenio tanto de manera foliar como al sustrato.

Licopeno

El contenido de licopeno de los frutos analizados mostró valores que fluctuaron entre $9,44$ y $20,61 \text{ mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ (Tabla 4), donde la aplicación de $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ de prohexadiona de calcio (P-Ca1) fue el tratamiento más sobresaliente. Al respecto, Ramírez et al. (2012) al evaluar la aplicación foliar de 125, 175 y $200 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ de prohexadiona de calcio en tomate 'Floradade' reportan un incremento en el contenido de licopeno con valores de $19 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$; los autores indican que el resultado más claro se observó cuando los frutos habían iniciado su proceso de maduración, lo cual sugiere un efecto directo en la inhibición en la síntesis

de giberelinas (Ozbay y Ergun, 2015), lo cual convierte a la prohexadiona de calcio como alternativa en el manejo agronómico que permite un incremento en la acumulación de licopeno como un importante compuesto antioxidante que coadyuva en el cuidado de la salud. En rosal (*Rosa hybrida* L.) Schmitzer et al. (2012) reportan un efecto positivo de la aplicación de prohexadiona de calcio sobre los pétalos, con referencia al desarrollo de los parámetros de color y los contenidos de flavonoles específicamente las antocianinas, donde además también se indica un efecto benéfico sobre el comportamiento del proceso de senescencia durante su manejo poscosecha (Ramírez et al., 2010; Chang, 2016).

Conclusiones

El uso de diversos biorreguladores del crecimiento parece afectar la calidad fisicoquímica en los frutos de tomate, sin embargo, los mejores resultados se obtuvieron con la aplicación de yodo, el cual permitió un incremento en la brillantez y tonalidad de color, manteniendo sin cambios la pureza de color, de igual manera sobre la concentración de sólidos solubles totales. Por otro lado, la prohexadiona de calcio permitió un incremento en el peso de fruto, diámetro ecuatorial y concentración de licopeno. Adicionalmente las plantas con frutos con mayor firmeza y acidez fueron observadas con la aplicación de selenito de sodio.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) y a la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH) por los apoyos técnico y administrativo otorgados para la realización de esta investigación. Así

mismo, el primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para la obtención del grado de Doctor en Ciencias en Horticultura.

Referencias bibliográficas

- AOAC (1990). Official Methods and Analysis, 14th. Ed. AOAC International, VA, EE. UU. 1006 pp.
- Beckles DM (2012). Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology* 63: 129-140.
- Becvort-Azcurra A, Fuentes-Lara LO, Benavides-Mendoza A, Ramírez H, Robledo-Torres V, Rodríguez-Mendoza MN (2012). Aplicación de selenio en tomate: crecimiento, productividad y estado antioxidante del fruto. *Terra Latinoamericana* 30(4): 291-301.
- Carra B, Spagnol D, Sozo-de Abreu E, Da Silveira-Pasa M, Pereira-da Silva C, Hellwing, CG, Fachinello JC (2017). Prohexadione calcium reduces vegetative growth and increases fruit set of 'Smith' pear trees, in Southern Brazil. *Bragantia* 76: 360-371.
- Carrillo-López A, Yahia EM (2014). Changes in color-related compounds in tomato fruit exocarp and mesocarp during ripening using HPLC-APCl⁺-mass Spectrometry. *Journal of Food Science and Technology* 51: 2720-2726.
- Casierra-Posada F, Aguilar-Avenidaño O (2008). Calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez. *Agronomía Colombiana* 26: 300-307.
- Chang PT (2016). Influence of Prohexadione-Calcium on the growth and quality of summer 'Jen-Ju Bar' guava fruit. *Journal of Plant Growth Regulation* 35: 980-986.
- Choi K, Lee G, Han YJ, Bunn JM (1995). Tomato maturity evaluation using color image analysis. *Transactions of the ASAE* 38: 171-176.
- Cortés-Flores C, Rodríguez-Mendoza MN, Benavides-Mendoza A, García-Cué JL, Tornero-Campante M, Sánchez-García P (2016). El yodo aumenta el crecimiento y la concentración de minerales en plántulas de pimiento morrón. *Agrociencia* 50: 747-758.
- Cuesta G, Mondaca E (2014). Efecto de un biorregulador a base de auxinas sobre el crecimiento de plantines de tomate. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 20: 215-222.
- De la Rosa-Rodríguez R, Lara-Herrera A, Lozano-Gutiérrez J, Padilla-Bernal LE, Avelar-Mejía, J, Castañeda-Miranda R (2016). Rendimiento y calidad de tomate en sistemas hidropónicos abierto y cerrado. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 17: 3439-3452.
- Dhall RK, Sing 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: 244.
- Figueroa-Cares IE, Cruz-Álvarez O, Martínez-Damián MT, Rodríguez-Pérez JE, Colinas-León MT, Valle-Guadarrama S (2018). Calidad nutricional y capacidad antioxidante en variedades y genotipos nativos de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)* 35: 63-84.
- García-Osuna HT, Benavides-Mendoza A, Rivas-Morales C, Morales-Rubio E, Verde-Star J, Miranda-Ruvalcaba R (2014). Iodine application increased ascorbic acid content and modified the vascular tissue in *Opuntia ficus-indica*. *Pakistan Journal of Botany* 46: 127-134.
- Guardado-Félix D, Serna-Saldivar SO, Cuevas-Rodríguez EO, Jacobo-Velázquez DA, Gutiérrez-Urbe JA (2017). Effect of sodium selenite on isoflavonoid contents and antioxidant capacity of chickpea (*Cicer arietinum* L.) sprouts. *Food Chemistry* 226: 69-74.
- Inbaraj BS, Chen BH (2008). Carotenoids in tomato plants. En: *Tomatoes and tomato products: nutritional, medicinal and therapeutic properties* (Ed. Preedy V, Watson R), pp. 133-164. Science Publishers, Enfield, NH, USA.
- Jiang TM, Wang P, Yin XR, Zhang B, Xu CJ, Li X, Chen KS (2011). Ethylene biosynthesis and expression of related genes in loquat fruit at different developmental and ripening stages. *Scientia Horticulturae* 130: 452-458.

- Kiferle C, Gonzali S, Holwerda TH, Real R, Perata P (2013). Tomato fruits: a good target for iodine biofortification. *Frontier in Plant Science* 4: 205.
- López-Camelo AL, Gómez P, Artés F (2003). Use of a^* and b^* colour parameters to assess the effect of some growth regulators on carotenoid biosynthesis during postharvest tomato ripening. *Acta Horticulturae* 599: 305-308.
- Montoya-Holguin C, Cortés-Osorio JA, Chaves-Osorio JA (2014). Sistema automático de reconocimiento de frutas basado en visión por computador. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería* 22: 504-516.
- Ozbay N, Ergun N (2015). Prohexadione calcium on the growth and quality of eggplant seedlings. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 50: 932-938.
- Padrón-Pereira CA, Padrón-León GM, Montes-Hernández AI, Oropeza-González RA (2012). Determinación del color en epicarpio de tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) con sistema de visión computarizada durante la maduración. *Agronomía Costarricense* 36: 97-111.
- Palencia P, Martínez F, Burducea M, Oliveira JA, Giralde I (2016). Efectos del enriquecimiento con selenio en SPAD, calidad de la fruta y parámetros de crecimiento de plantas de fresa en un sistema de cultivo sin suelo. *Revista Brasileira de Fruticultura* 38: 202-212.
- Privé JP, Cline J, Fava E (2006). Influence of prohexadione calcium (Apogee®) on shoot growth of non-bearing mature apple trees in two different growing regions. *Canadian Journal of Plant Science* 86: 227-233.
- Ramírez H, Herrera-Gámez B, Méndez-Quiroa YH, Benavides-Mendoza A, De la cruz-Breton JA, Álvarez-Mares V, Rancaño-Arriola JH, Villareal-Quintanilla JA (2008). Prohexadione de calcio disminuye el contenido de giberelinas endógenas en ápices de tomate saladette y chile pimienta. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 14: 193-198.
- Ramírez H, Amado-Ramírez C, Benavides-Mendoza A, Robledo-Torres V, Martínez-Osorio A (2010). Prohexadione-Ca, AG₃, ANOXA y BA modifican indicadores fisiológicos y bioquímicos en chile Mirador. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 16: 83-89.
- Ramírez H, Leza PC, Rivera CE, 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.
- Ramírez H, Álvarez-Maldonado VM, Aguilar CN, Wong-Paz JE, Zermeño-González A, Vázquez-Badillo ME, Zavala-Ramírez MG, Mendoza-Castellanos J (2017). La prohexadione-Ca aumenta rendimiento y contenido de antioxidantes en vid cultivar Shiraz. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 4: 13-20.
- Ramos SJ, Faquin V, Guilherme LRG, Castro EM, Ávila FW, Carvalho GS, Bastos CEA, Oliveira C (2010). Selenium biofortification and antioxidant activity in lettuce plants fed with selenate and selenite. *Plant Soil and Environment* 56: 584-588.
- SAS Institute (2004). SAS/STAT User's Guide Release 9.0. Statistical Analysis Institute, Cary, North Carolina, USA.
- Sadler G, Davis J, Dezman D (1990). Rapid extraction of lycopene and β -carotene from reconstituted tomato paste and pink grapefruit homogenates. *Journal of Food Science* 55: 1460-1461.
- 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.
- Smoleń S, Skoczylas L, Ledwożyw-Smoleń I, Rakoczy R, Liszka-Skoczylas M, Kopeć A, Piątkowska E, Bieżanowska-Kopeć R, Koronowicz A, Kapusta-Duch J, Sady W (2016). The quality of carrot (*Daucus carota* L.) cultivated in the field depending on iodine and selenium fertilization. *Folia Horticulturae* 28: 151-164.
- Sokal RR, Rohlf FJ (1995). *Biometry. The principles and practice of statistics in biological research*. 3rd. Ed. W.H. Freeman and Company. New York, USA. 887 pp.
- Steiner AA (1984). The universal nutrient solution. *Proceedings 6th International Congress on Soils Culture*, 20 abril-5 mayo, Wageningen, The Netherlands, pp. 883.

Urrieta-Velázquez JA, Rodríguez-Mendoza MN, Ramírez-Vallejo P, Baca-Castillo GA, Ruiz-Posada, LM, Cueto-Wong JA (2012). Variables de producción y calidad de tres selecciones de jitomate de costilla (*Solanum lycopersicum* L.). Revista Chapingo Serie Horticultura 18: 371-381.

Voss DH (1992). Relating colorimeter measurement of plant color to the *Royal Horticultural Society Color Charts*. HortScience 27: 1256-1260.

Zhu Z, Chen Y, Zhang X, Li M (2016). Effect of foliar treatment of sodium selenate on postharvest decay and quality of tomato fruits. *Scientia Horticulturae* 198: 304-310.

(Aceptado para publicación el 22 de noviembre de 2018)