

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



P-CA, AG<sub>4/7</sub> Y 6-BAP EN LA FISIOLÓGÍA Y NUTRICIÓN DE TOMATE EN  
INVERNADERO

**Tesis**

Que presenta ABDIEL LÓPEZ FABIÁN

como requisito parcial para obtener el grado de:  
MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

Saltillo, Coah.

Diciembre 2016

P-CA, AG<sub>47</sub> Y 6-BAP EN LA FISIOLÓGÍA Y NUTRICIÓN DE TOMATE EN  
INVERNADERO

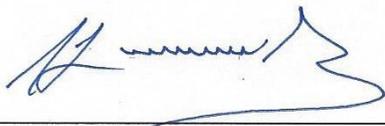
**Tesis**

Elaborada por ABDIEL LÓPEZ FABIÁN como requisito parcial para obtener el grado de: MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN con la supervisión y aprobación del Comité de Asesoría.



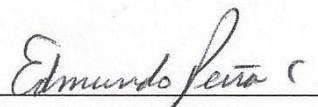
Dr. Homero Ramírez Rodríguez.

Asesor principal



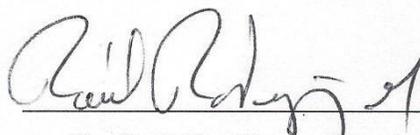
Dr. Alejandro Zermeño González

Asesor



Dr. Edmundo Peña Cervantes

Asesor



Dr. Raúl Rodríguez García

Asesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel.

Subdirector de Postgrado

UAAAN

Saltillo, Coah.

Diciembre 2016

## **Agradecimientos.**

Agradezco al Dios todopoderoso por haber hecho posible la realización y culminación de este proyecto y por sus infinitas bendiciones sobre mi vida.

Quiero agradecer de manera sincera y muy especial al Dr. Homero Ramírez por su apoyo y confianza en mi trabajo, por haber canalizado esta investigación y haberme guiado en mi desarrollo profesional con sus invaluable consejos. MUCHAS GRACIAS DOCTOR.

Agradezco a los doctores Edmundo Peña, Alejandro Zermeño y Raúl Rodríguez por la activa participación que mostraron durante el desarrollo de la investigación haciendo posible la culminación de la misma.

Agradezco a la MC. María Guadalupe Zavala Ramírez, por su activa colaboración y sus aportes como investigador a este proyecto. Así también agradezco a la TLQ. María Guadalupe Pérez Ovalle por su buena participación.

Agradezco enormemente a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por haber hecho posible obtener este grado de maestría. Mi casa dorada, muchas gracias.

Agradezco a la CONACYT por la facilidad que otorga a jóvenes estudiantes para lograr un nivel posgrado, Muchas gracias.

## Dedicatoria

“Señor, tú nos has sido refugio  
de generación en generación.  
Antes que naciesen los montes  
Y formases la tierra y el mundo,  
desde el siglo y hasta el siglo, tú eres Dios” Salmos 90:1-2.

Dedico este importante fragmento de mi vida primeramente al señor Jesucristo,  
a este soberano rey que merece toda la gloria.

Quiero dedicar este logro a un incansable guerrero *Mateo Adolfo López Medrano*, mi amigo, mi hermano, mi PADRE, y a la mujer más valerosa que mis ojos hallan visto, a mi MADRE *María Margarita Fabián Mendoza* que siempre encuentro un refugio en su corazón por su amor, carisma y ternura.

Dedico también este triunfo a mis hermanos. Los amo.

## Índice General.

Agradecimientos.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Lista de Cuadros.....	vii
Lista de Figuras.....	viii
Resumen .....	x
Abstract.....	xii
INTRODUCCION .....	1
Objetivo .....	2
Hipótesis.....	2
REVISION DE LITERATURA.....	3
El tomate y su cultivo.....	3
Aspectos fisiológicos del cultivo de tomate.....	4
Biorreguladores .....	6
Giberelinas .....	7
Citocininas.....	8
Retardantes de crecimiento.....	8
Prohexadiona de Calcio .....	9
MATERIALES Y METODOS.....	11
Sitio experimental y diseño estadístico.....	11
Parámetros foliares.....	12
Rendimiento .....	12
Antioxidantes .....	12
Contenido de minerales.....	13
Biomasa Total.....	14
RESULTADOS Y DISCUSIÓN. ....	15
Parámetros foliares.....	15
Biomasa Total.....	19
Rendimiento .....	24

Antioxidantes .....	25
CONCLUSIONES .....	267
REFERENCIAS .....	28

## Lista de Cuadros

<b>Cuadro 1.</b> Efecto de biorreguladores en la fotosíntesis, transpiración foliar y eficiencia hídrica en plantas de tomate saladette hibrido "Raptor-F1".....	<b>18</b>
<b>Cuadro 2.</b> Efecto de biorreguladores en el contenido de minerales en hojas de plantas de tomate saladette hibrido "Raptor-F1".....	<b>21</b>
<b>Cuadro 3.</b> Efecto de biorreguladores en el contenido de minerales en frutos de tomate saladette hibrido "Raptor-F1".....	<b>23</b>
<b>Cuadro 4.</b> Efecto de biorreguladores en el contenido de licopeno y vitamina C en frutos de tomate saladette hibrido "Raptor-F1".....	<b>26</b>

## **Lista de Figuras.**

- Figura 1.** Efecto de biorreguladores en la temperatura de la hoja de plantas de tomate saladette hibrido "Raptor-F1".....**16**
- Figura 2.** Efecto de biorreguladores en el contenido de clorofila en hojas de tomatosaladette hibrido "Raptor-F1".....**17**
- Figura 3.** Influencia de biorreguladores en la biomasa fresca y seca total en plantas de tomate saladette hibrido "Raptor-F1".....**20**
- Figura 4.** Influencia de biorreguladores en el rendimiento de plantas de tomate saladette hibrido "Raptor-F1".....**24**

## Resumen

P-CA, AG<sub>4/7</sub> Y 6-BAP EN LA FISIOLÓGÍA Y NUTRICIÓN DE TOMATE EN  
INVERNADERO

POR

ABDIEL LÓPEZ FABIÁN

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. HOMERO RAMÍREZ RODRÍGUEZ -ASESOR-

Saltillo, Coah.

Diciembre 2016

El tomate es un cultivo de importancia mundial por su aportación en mano de obra, economía y calidad alimenticia. Estas características obligan a una continua búsqueda de tecnologías que contribuyan a mejorar el rendimiento y calidad del fruto. En este estudio se evaluó el efecto de biorreguladores en parámetros foliares, contenido de nutrientes, rendimiento y calidad del fruto de tomate saladette híbrido "Raptor-F1". El estudio se realizó en un invernadero de la UAAAN, Saltillo, Coahuila, durante el ciclo de producción Abril-Agosto de 2015. Cuando las plantas mostraron primordios florales se realizó una primera aplicación foliar con atomizador manual a punto de rocío de los tratamientos: control (agua), P-Ca (50 mg L<sup>-1</sup>), AG<sub>4/7</sub>(50 mg L<sup>-1</sup>), AG<sub>4/7</sub>(100 mg L<sup>-1</sup>), 6-BAP(50 mg L<sup>-1</sup>), 6-BAP(100 mg L<sup>-1</sup>), AG<sub>4/7</sub>(50 mg L<sup>-1</sup>)+6-BAP(50 mg L<sup>-1</sup>) y AG<sub>4/7</sub>(100 mg L<sup>-1</sup>)+6-BAP(100 mg L<sup>-1</sup>); y, 15 días después, se realizó una segunda aplicación de las mismas dosis. Se estableció un diseño estadístico completamente al azar con diez repeticiones por tratamiento. Para la comparación de medias de los tratamientos se usó la prueba DMS ( $P \leq 0.05$ ). P-Ca y 6-BAP a 50 mg L<sup>-1</sup> no modificaron los parámetros foliares y rendimiento por planta; sin embargo, aumentaron el nivel de potasio en hojas y de nitrógeno y calcio en frutos. 6-BAP a 50 mg L<sup>-1</sup> incrementó la materia fresca y seca; mientras que, al combinarse con las giberelinas A<sub>4/7</sub> a 100 mg L<sup>-1</sup> aumentaron el contenido de vitamina C y licopeno en frutos. Se concluye que las concentraciones individuales o combinadas de P-Ca, AG<sub>4/7</sub> y 6-BAP, favorecen la calidad del tomate saladette híbrido "Raptor-F1" en invernadero.

**Palabras clave:** prohexadiona-calcio, giberelinas, citocininas, clorofila, minerales, licopeno.

**Abstract**

P-CA, AG<sub>4/7</sub> Y 6-BAP IN THE PHYSIOLOGY AND NUTRITION OF THE  
TOMATO IN GREENHOUSE

BY

ABDIEL LÓPEZ FABIÁN

MASTER OF SCIENCE PRODUCTION SYSTEMS ENGINEERING  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. HOMERO RAMÍREZ RODRÍGUEZ -ADVISOR-

Saltillo, Coah.

December 2016.

Tomato crop is a vegetable of worldwide importance. This is true as a result of its contribution in labor work, economy improvement and human feeding. Therefore, it is of great interest to incorporate innovative technologies directed to increase yield and fruit quality. In this research, the effects of biorregulators in spectral parameters, yield and fruit quality of saladette tomato hybrid "Raptor-F1" grown under greenhouse conditions were evaluated at the UAAAN, Saltillo, Coahuila, Mexico, during the period April to August 2015. When plants showed floral primordia, a first foliar spray of treatments: control (water), P-Ca(50 mg L<sup>-1</sup>), GA<sub>4/7</sub>(50 mg L<sup>-1</sup>), GA<sub>4/7</sub>(100 mg L<sup>-1</sup>), 6-BAP(50 mg L<sup>-1</sup>), 6-BAP(100 mg L<sup>-1</sup>), GA<sub>4/7</sub>(50 mg L<sup>-1</sup>)+6-BAP(50 mg L<sup>-1</sup>) and GA<sub>4/7</sub>(100 mg L<sup>-1</sup>)+6-BAP(100 mg L<sup>-1</sup>) was applied to run-off using a hand sprayer. A second application of same dosages was performed 15 days later. The results obtained were analyzed using the DMS test (P≤0.05). P-Ca and 6-BAP at 50 mg L<sup>-1</sup> didn't modify the foliar parameters and yield; however, they increased the content of potassium in leaves and nitrogen and calcium in fruits. 6-BAP at 50 mg L<sup>-1</sup> increased fresh and dry matter; whereas, when combined with gibberellins <sub>4/7</sub> at 100 mg L<sup>-1</sup> increased the content of vitamin C and lycopene in fruits. It is concluded that the individually or combined concentrations of P-Ca, AG <sub>4/7</sub> and 6-BAP, improve fruit quality on saladette tomato hybrid "Raptor-F1" grown in greenhouse.

**Key words:** prohexadione-calcium, gibberellins, cytokinins, chlorophyll, minerals, lycopene

## INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las hortalizas de mayor importancia en muchos países del mundo por el gran número de subproductos que se obtienen de él y las divisas que aporta a su economía. En México se tienen aproximadamente 80,000 hectáreas de invernadero para su cultivo (Betancourt y Pierre, 2013) por lo que es permanentemente obligado desarrollar o adaptar tecnologías que permitan mejorar su rendimiento y calidad de fruto sin provocar efectos adversos al medio ambiente.

El uso de biorreguladores en la agricultura se ha intensificado en años recientes con el objetivo de mejorar la producción y calidad de frutos a través de las diversas acciones que ofrece esta tecnología. En diversas investigaciones se ha descubierto que la bioactividad de los biorreguladores está directamente relacionada con un mejor enlace de su molécula al sitio de recepción en la célula y una mayor capacidad reactiva en el punto de inducción al estimular o inhibir un proceso fisiológico. Esta característica los ubica como una excelente tecnología para incrementar la calidad y producción en términos de maduración temprana o tardía de frutos, mayor contenido de antioxidantes, mayor vida de anaquel, translocación de nutrientes e incluso fortaleza fisiológica contra plagas y enfermedades (Nickell, 1988).

La prohexadiona de calcio (P-Ca) es un retardante de crecimiento que actúa a través de la inhibición de la síntesis de giberelinas biológicamente activas ( $A_1$ ,  $A_4$ , y  $A_7$ ) las cuales reducen el crecimiento vegetativo (Ramírez *et al.*, 2016a). Se ha reportado en Chile pimiento y cereza que P-Ca aumenta el contenido de citocininas en el meristemo apical; condición relacionada con la formación de flores y cuajado de los frutos (Ramírez *et al.*, 2010). Efectos similares han sido reportados en especies frutales de clima templado como pera, durazno y manzana (Costa *et al.*, 2004a; Costa *et al.*, 2004b; Ramírez *et al.*, 2003); sin embargo, poco se conoce sobre el efecto P-Ca, giberelinas  $A_{4/7}$  y de la citocinina 6-bencil amino purina (6BAP) en el cultivo de tomate.

Por lo anterior, en este estudio se planteó conocer los efectos que producen la prohexadiona de calcio giberelinas  $A_{4/7}$  y 6-bencilaminopurina en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo condiciones de invernadero.

### **Objetivo**

Evaluar los efectos de prohexadiona de calcio (P-Ca), giberelinas $_{4/7}$  (AG $_{4/7}$ ) y 6-bencilaminopurina (6-BAP) en parámetros foliares, contenido de nutrientes, rendimiento y calidad del fruto de tomate saladette híbrido “Raptor-F1” bajo condiciones de invernadero.

### **Hipótesis**

Prohexadiona de calcio (P-Ca), giberelinas $_{4/7}$  (AG $_{4/7}$ ) y 6-bencilaminopurina (6-BAP) provocan efectos positivos sobre parámetros foliares, contenido de nutrientes, rendimiento y calidad del fruto de tomate saladette híbrido “Raptor-F1” bajo condiciones de invernadero.

## REVISION DE LITERATURA

### El tomate y su cultivo

El tomate cultivado en la actualidad (*Solanum lycopersicon L.*) probablemente se deriva de un ancestro que aún se encuentra en forma silvestre en los trópicos de Centro América y que se le conoce comúnmente como tomatillo. Ambos pertenecen a la familia de las solanáceas (Solanaceae), que incluye otras plantas domesticadas (chile, papa, berenjena), poco domesticadas (miltomate), no domesticadas pero de uso tradicional (hierbamora) y otras sin ningún otro uso (CATIE, 1990).

En México el tomate ocupa el segundo lugar dentro de las hortalizas cultivadas por la superficie explotada y por la generación de empleos y divisas. En los últimos años la producción tomatera ha aumentado en alrededor de 50 por ciento, impulsada por una mayor superficie agrícola, con sistemas de agricultura protegida. De acuerdo con estadísticas del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), durante 2014 la producción anual de tomate fue de alrededor de 2.8 millones de toneladas, en tanto que datos del Sistema Producto indican que las exportaciones ascendieron a 20 mil millones de pesos. La mayoría de la producción se exporta a Estados Unidos, Canadá y algunos países europeos, con base en los altos estándares de calidad e inocuidad que han alcanzado los productores mexicanos, así como en el reconocido estatus sanitario del país.

Estos altos rendimientos dieron inicio a principios del siglo cuando en el 2001 el 30.2% de las exportaciones hortícolas mexicanas fueron de tomate, con un valor estimado de 591.7 millones de dólares (Carrillo-Fasio *et al.*, 2003); sin embargo, a pesar de que la producción se ha ido consolidando en los últimos años existen diversos factores que constantemente amenazan la producción (Márquez – Hernández *et al.*, 2006), y ante esto continuamente se proponen nuevas tecnologías para mejorar la calidad de la fruta y aumentar su rendimiento por la gran importancia alimenticia que de ella se obtienen.

En un análisis de calidad se sabe que el tomate proporciona un gran número de antioxidantes como licopeno, un antioxidante muy eficaz contra los problemas del cáncer (Ramírez *et al.*, 2016a), además de que es una rica fuente de minerales (Ramírez *et al.*, 2010) y ejerce un efecto protector contra las enfermedades cardiovasculares. Aunque el tomate no puede ser considerado como alimento energético, un kilogramo de fruto puede proporcionar 176 calorías, su aroma estimula el apetito, es rico en vitaminas A, B, C y B2, abundante en potasio, y bajo en energía calorífica. El tomate además contiene grados brix (sustancias solubles en agua que reflejan un alto por ciento de la calidad de sólidos totales que contienen los frutos en por ciento) que a mayor valor es más deseable; un valor mayor o igual a 4,0 es considerado bueno. Además existe una correlación directa entre sólidos solubles y firmeza, a mayor concentración de éstos es mayor la firmeza (Santiago *et al.*, 1998).

### **Aspectos fisiológicos del cultivo de tomate**

Entre los factores que afectan las principales etapas fenológicas del cultivo (fecha a floración, fertilidad, número y tamaño de frutos, y rendimiento) se encuentra la temperatura, la captación de energía solar (fotosíntesis), la transpiración y el buen suministro de agua (Santiago *et al.*, 1998). La planta obtiene el agua y los nutrimentos del suelo; del aire, el dióxido de carbono (para realizar la fotosíntesis) y el oxígeno (para respirar). La fotosíntesis suministra a la planta los carbohidratos que necesita y, consecuentemente, cuanto mayor sea el suministro de los factores necesarios para la fotosíntesis, mejor será su nivel nutricional. Sin embargo un aumento desmedido de la temperatura podría provocar desbalance en las reacciones bioquímicas de la planta.

Bar-Tsur *et al.*, (1985) mencionan que las plantas no pueden aprovechar el aumento de la tasa de la fotosíntesis al incrementar la temperatura bajo saturación de luz, se debe probablemente, que al rebasar la temperatura, el nivel óptimo (25 a 30 DC) la tasa declina con mucha rapidez. El punto de CO<sub>2</sub> aumenta con rapidez a medida que la temperatura se eleva por encima del

óptimo. De esta manera, los aumentos de temperatura, favorecen la fotorespiración en detrimento de la fotosíntesis.

Bleyaert (1991) estudió la relación agua-planta en tomate bajo condiciones de invernadero acondicionado a diferentes sitios. Las plantas fueron sembradas en diferentes suelos y con regímenes variados de riego, y los efectos que encontró fueron registrados en la producción de fruta, calidad de fruta y composición; transpiración y otros parámetros. La correlación significativa fue dada entre el agua diaria suplida) y el suministro diario de irradiación.

Otros estudios de la temperatura en la fotosíntesis, transpiración y resistencia estomatal, concluyen que las altas temperaturas en el invernadero, la transpiración se incrementó hasta mediodía y disminuyó cuando la temperatura se moderaba, este incremento de la transpiración correspondió a una disminución en la resistencia estomatal (Santiago *et al.*, 1998).

Stanghellini *et al.*, (1992) menciona que el incremento en la transpiración afecta al estado del agua en la planta y disminuye el potencial del agua en la hoja. La cantidad de agua usada directamente en las reacciones de la fotosíntesis es pequeña comparada con la transpirada o almacenada por las plantas en cualquier tiempo dado, la condición hídrica de la planta influye severamente en el crecimiento de la misma y en la producción de biomasa, en particular a través de sus efectos en la expansión de la hoja y raíz (Beadle *et al.*, 1985). Por otra parte, el mantenimiento de la turgencia de la planta y la transpiración del dosel del cultivo depende del sostenimiento de la absorción de agua en las raíces en la interface suelo raíz. Entre más extenso y denso sea el sistema radical, con mayor eficiencia se cubrirán esas demandas. Pero, a medida que el suelo se seca el encogimiento tanto de éste como de las raíces disminuye el contacto. El efecto final es una reducción en la absorción de agua, cierre de las estomas y una reducción en la fotosíntesis, y en la producción de biomasa (Santiago *et al.*, 1998).

Otro de los factores importante realizada por la planta es la respiración, que utiliza los carbohidratos para generar la energía que la planta necesita para realizar la mayor parte de los procesos de crecimiento y desarrollo, como

consecuencia, un buen suministro de oxígeno mejora su nivel energético. Las raíces también necesitan respirar, los suelos con exceso de agua no ofrecen el nivel de oxígeno adecuado para la respiración. Es necesario suministrar los factores de crecimiento para mantener la planta sana y vigorosa, de tal modo que pueda enfrentar condiciones tales como la competencia de otras plantas y los ataques de insectos o patógenos (CATIE, 1990).

Finalmente el objetivo que regularmente se plantea al establecer un cultivo es lograr un rendimiento que sea altamente redituable y con grandes expectativas de calidad en la cosecha. Para el caso del tomate, los componentes del rendimiento son, el número de frutos por planta y el peso de fruto. El número de frutos por planta está determinado por el número de flores que son fecundadas y alcanzan a desarrollarse en fruto. Así, dichos componentes del rendimiento que involucra procesos fisiológicos relacionados con el crecimiento vegetativo y reproductivo, está fuertemente influenciado por la relación fuente – demanda en diferentes fases del ciclo de vida de la planta. El peso del fruto, a su vez está determinado por la relación entre la potencia de la fuente y la potencia de la demanda durante el periodo de crecimiento del fruto. Esta relación determinará la máxima cantidad de asimilados que producirá la fuente y que aceptará la demanda, y que se puede traducir en una tasa de absorción o incorporación de asimilados por unidad de peso del tejido-demanda, más las pérdidas por respiración (Wereing y Patrick, 1975)

### **Biorreguladores**

En años recientes se ha intensificado el uso de biorreguladores, por el éxito económico y los efectos rápidos y beneficios para el agricultor; entre otros, se favorece la calidad y cantidad de la producción, inducción de la floración, incremento del tamaño de los frutos, inhibición del crecimiento vegetativo y retraso de la senescencia de la planta (Ramírez *et al.*, 2016a, Rademacher, 2000).

El biorregulador tiene una función muy específica y característica de que actúa a concentraciones muy bajas regulando procesos de crecimiento y de diferenciación. Estas hormonas se producen en todos los tejidos de la planta y

puede ejercer su influencia en la misma célula donde se forma o bien translocarse a otro sitio para actuar (Weaver, 1990). Las más estudiadas son: auxinas giberelinas, citocininas, etileno, inhibidores y retardantes

Por la gran diversidad de la composición de estos productos, existen muchos biorreguladores y por lo tanto muchas respuestas de las plantas, aunque se conoce el efecto beneficioso, no se sabe con profundidad la influencia de estos biorreguladores sobre el metabolismo y los cambios fisiológicos en las plantas tratadas, por lo que existe un amplio campo de investigación abierto.

### **Giberelinas**

Las giberelinas (GAs) son hormonas de crecimiento diterpenoides tetracíclicas involucrados en varios procesos de desarrollo en vegetales. A pesar de ser más de 100 el número hallado en plantas, sólo son unas pocas las que demuestran actividad biológica. (Malonek *et al.*, 2005). El ácido giberélico (AG<sub>3</sub>) es quizás la giberelina de mayor uso comercial en la actualidad. Una de las principales funciones del AG<sub>3</sub> es inducir la síntesis de  $\alpha$ -amilasa, que es la enzima que toma parte en la desintegración de las reservas de almidón durante la germinación de las semillas. Debido a esta función, es bien conocido su uso como promotor o inductor de la germinación y floración en diversos tipos de plantas (Tigabu y Odén, 2001).

González, *et al.*,(2007) demostraron que concentraciones medianas de AG<sub>3</sub> fueron apropiados para inducir la floración y obtener mayor altura de planta, mientras que dosis relativamente bajas permitieron acumular mayor cantidad de biomasa. Se ha observado también que AG<sub>3</sub> aumenta la germinación, y floración de hortalizas como chile jalapeño, melón y sandía incrementando la rentabilidad de los cultivos (Checa, 1996).Sin embargo otras investigaciones han demostrado que altas concentraciones de AG<sub>3</sub> no promueven la germinación de semillas de plantas del género *Opuntia spp* (Williams y Arias 1978 )

## **Citocininas**

Las citocininas son hormonas esenciales en el accionar de varios procesos vinculados al crecimiento y desarrollo de las plantas y relacionados a la acción de varios genes. Entre los efectos que causan a las plantas sobresalen: la división celular, activan el brote de yemas, inducen organogénesis y retardan la senescencia (Malonek *et al.*, 2005). Dentro de las citocininas destaca 6-Bencilaminopurina (6 BAP) que ha mostrado resultados favorables en varios cultivos.

En un estudio desarrollado en cacao, las plantas tratadas con 6-Bencilaminopurina alcanzaron mayores valores en longitud, número de hojas, área foliar y masa fresca y seca del injerto así como también mayores diámetros del injerto (Cárdenas-Hernández *et al.*, 2010). Otros estudios han revelado que 6-Bencilaminopurina a bajas concentraciones induce un mayor desarrollo de yemas axilares (Carlos *et al.*, 2007); sin embargo, Pierik (1990) demostró que incluso a concentraciones altas, 6 BAP es capaz de promover el desarrollo de yemas axilares, ya que disminuye la dominancia apical, iniciando así una decencia homocigótica idéntica a la planta madre.

## **Retardantes de crecimiento**

Son Compuestos químicos que retrasan la activación del meristemo subapical responsable de la elongación de los tallos, no afecta de igual manera al meristemo apical. Los retardantes de crecimiento más conocidos son: Ethephon, Chlormequatchloride, Mepiquatchloride, Ancymidol, Flurprimidol, Tetcyclacis, Paclobutrazol, Uniconazole-P, Inabenfide, Daminozida, Trinexapacethyl, Prohexadione-Ca y endo-16,17 Dihydro-GA<sub>5</sub>-13-acetate, sin embargo los que han sido utilizados más en la agricultura son Ethephon, Daminozide, Chlormequat, Paclobutrazol y Prohexadione-Ca (Rademacher, 2004).

Los retardantes de crecimiento tienen muchas aplicaciones. Las más notorias son una reducción del crecimiento del tallo y un aumento de la producción de raíz, ya que bloquean la síntesis de giberelinas, la degradación del ácido abscisico (ABA) y promueven la acumulación de citocininas. En plantas tratadas aumenta la concentración de prolamina, se provoca el cierre parcial de estomas

y disminuye por lo tanto la transpiración. En ornamentales son una gran herramienta en situaciones de estrés (Rademacher, 2004).

Rademacher, (2004) señala que retardantes como el Ethephon además de la reducción de crecimiento, inducía también la caída de frutos y una maduración precoz; Por otro lado Owens y Stover (1999) reportaron que otros productos como Daminozida y Cloromequat también inhiben el crecimiento vegetal pero presentan una persistencia en el tejido vegetal comestible con efectos tóxicos al ser humano y por lo tanto tienen restricciones de uso agrícola.

### **Prohexadiona de Calcio**

La prohexadiona de calcio (P-Ca) es un biorregulador que aparentemente actúa inhibiendo la biosíntesis de giberelinas virtualmente sin toxicidad y que tiene una persistencia limitada (Fallahi, 1999). Sin embargo, su mecanismo de acción aún no es definido totalmente desde el punto de vista hormonal endógeno (Costa *et al.*, 2004b). Evans (1997), menciona que su translocación es principalmente acropétala y en menor grado basipétala con un período de actividad biológica dentro de 10-14 días.

Evans *et al.*, (1999) reportó que P-Ca tiende a aumentar los niveles de citocininas en los tejidos como meristemos apicales y semillas inmaduras, este efecto ha sido relacionado con el estímulo en la formación de flores y consecuentemente el rendimiento en diversas especies hortícolas (Ramírez *et al.*, 2010). Prohexadiona de calcio se aplica foliarmente y se descompone rápidamente en el suelo cuando se aplica directamente al cuello del tallo de los frutales (Rademacher, 2000). Los principales efectos P-Ca son: reducción en la tasa de crecimiento de los brotes tiernos; retraso en las etapas de senescencia y maduración del fruto; incremento en el porcentaje de amarre del fruto (Ramírez *et al.*, 2016a; Rademacher, 2000).

### **Metabolismo de la Prohexadiona de calcio**

La Prohexadiona-Ca en plantas superiores se degrada con un tiempo de vida promedio de 2-6 semanas. En el suelo se descompone en CO<sub>2</sub> con una vida media menor de los siete días. En el agua se degrada por fotólisis a CO<sub>2</sub> y

otros productos naturales. En mamíferos es rápidamente absorbido y secretado. No ha sido observado acumulaciones en tejidos de mamíferos (Evans *et al.*, 1999).

### **Mecanismo de acción**

Prohexadiona de calcio inhibe la biosíntesis de las giberelinas biológicamente activas del crecimiento, condición que reduce el crecimiento de los brotes (Nakayama *et al.*, 1990; Nakayama *et al.*, 1992). Sus aplicaciones reducen los niveles de GA<sub>1</sub> (altamente activa) y causa acumulación de su inmediato precursor GA<sub>20</sub> inactiva (Nakayama *et al.*, 1990; Rademacher, 2000). En relación a las diogenasas inmersas en el metabolismo de los flavonoides, pueden ser afectadas en algunos puntos por P-Ca y compuestos relacionados (Evans *et al.*, 1999).

## MATERIALES Y METODOS

### Sitio Experimental y Diseño Estadístico

El estudio se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México, en un invernadero con una estructura superior metálica cubierta con plástico blanco (calibre 720) en el techo y placas laterales de policarbonato. Como material vegetal se usaron plántulas de dos meses de tomate saladette de crecimiento indeterminado híbrido "Raptor-F1" las cuales fueron trasplantadas el 15 de Abril del 2015 a bolsas de plástico negro con capacidad de 12 litros usando como sustrato: suelo, tezontle y perlita (2:1:2 v/v). Las bolsas fueron distribuidas a una distancia de 50 cm entre plantas y 75 cm entre filas, las condiciones climáticas dentro del invernadero se mantuvieron a 25 °C y 65% de humedad relativa durante el experimento. Se usó un sistema de riego por goteo de alto flujo en cada maceta, realizándose tres riegos diarios en diferentes horarios al día (9:00, 13:00 y 18:00 h), donde se aplicaron 900 ml de agua en cada maceta en cada riego efectuado, siendo esta cantidad el gasto por maceta al haberse efectuado una previa calibración. El cultivo se manejó a un tallo con las labores culturales tradicionales del departamento de Horticultura en la UAAAN.

Los tratamientos con biorreguladores fueron los siguientes: Control (agua), P - Ca (50 mg L<sup>-1</sup>), AG<sub>4/7</sub> (50 mg L<sup>-1</sup>), AG<sub>4/7</sub> (100 mg L<sup>-1</sup>), 6-BAP (50 mg L<sup>-1</sup>), 6-BAP (100 mg L<sup>-1</sup>), AG<sub>4/7</sub> (50 mg L<sup>-1</sup>) + 6-BAP (50 mg L<sup>-1</sup>) y AG<sub>4/7</sub> (100 mg L<sup>-1</sup>) + 6-BAP (100 mg L<sup>-1</sup>). Cuando las plantas mostraron los primeros primordios florales el 18 de mayo del 2015 se realizó la primera aplicación foliar a punto de rocío utilizando un atomizador; y 15 días después se realizó la segunda aplicación con los mismos tratamientos. El experimento se estableció en un diseño completamente al azar con 10 repeticiones por tratamiento (una planta por cada repetición). Las variables evaluadas fueron: temperatura de la hoja, contenido de clorofila, transpiración foliar, fotosíntesis, eficiencia intrínseca, rendimiento, contenido de vitamina C y licopeno en frutos, contenido de minerales en hojas y frutos (N, P, K, Ca, y Mg) y biomasa fresca y seca total. La

comparación de medias de tratamientos se realizó con la prueba de DMS ( $P \leq 0.05$ ).

### **Parámetros Foliare**

La temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) y clorofila (Unidades SPAD) en hojas fueron medidas de manera simultánea con un termómetro digital Thermometer IR marca Radioshack y un Medidor de Clorofila SPAD 502 marca Konica Minolta respectivamente. Se tomó como referencia la hoja más joven y mejor desarrollada en cada planta. Se realizaron tres mediciones después de cada aplicación cada 5 días, las mediciones se efectuaron a las 11 am en cada muestreo. La transpiración foliar ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) y la tasa de fotosíntesis ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) fueron obtenidas con un Medidor Portátil LI-COR Modelo LI-6400 TX, en hojas descritas anteriormente. Estas mediciones se realizaron en dos ocasiones, 5 días después de la primera aplicación y 37 días después de la segunda aspersion, el primer muestreo se efectuó a las 12 horas del mediodía y el segundo a las 2 pm respectivamente. La eficiencia intrínseca del uso del agua fue la relación entre la tasa de fotosíntesis y la transpiración.

### **Rendimiento**

El rendimiento total por planta resultó de la suma del peso de frutos cosechados en 10 cortes, utilizando una báscula marca Scout® Pro con una capacidad de 1000g.

### **Antioxidantes**

El contenido de vitamina C en frutos se determinó usando el método reportado por Padayatt *et al.*, (2001). Se maceró 10 g de pericarpio del fruto con 10 ml de ácido clorhídrico al 2% (v/v), posteriormente se homogeneizó la mezcla en 40 ml de agua destilada, se filtró a través de gasa y se colectó en un matraz Erlenmeyer. Se tomaron 10 ml de la solución y se titularon con 2,6 – diclorofenolindofenol ( $1 \times 10^{-3}$  N), hasta que la solución alcanzó un color rosa. El contenido de vitamina C se determinó utilizando la siguiente relación:

*Vitamina C (mg 100 g)*

$$= \frac{(ml \text{ utilizados de } 2,6 - \text{ diclorofenolindofenol} \times 0.088 \times \text{Volumen Total} \times 100)}{(\text{Peso de la Muestra} \times \text{Volúmen de la Alicuota})}$$

El contenido de licopeno se obtuvo de 3 g de peso fresco de pericarpio del fruto. Las muestras se colocaron en un mortero congelado que contenía 3 ml de amortiguador de fosfatos (pH 7) y se molió, de la mezcla obtenida se tomaron 2 ml y se colocaron en tubos de centrifuga, se agregaron 4 ml de la mezcla hexano – acetona (3:2), se agitó la mezcla para separar y disolver los pigmentos de las membranas (Davis *et al.*, 2003), se centrifugó a 3,000 rpm durante 10 minutos para la separación de fases, se extrajo la fase coloreada y se cuantifico a una longitud de onda de 450 nm en un equipo de HPLC marca Varian, modelo 500-MS. Para cuantificar el contenido de licopeno en las muestras, se construyó una curva de calibración de licopeno estándar (Sigma, Co) con un rango de 0-40 mg ml<sup>-1</sup> previamente disuelto en la solución mencionada. Las muestras se compararon con la curva de calibración y el contenido de licopeno se determinó usando una ecuación de regresión lineal.

### **Contenido de Minerales**

Para el análisis de minerales (N, P, K, Mg y Ca) en frutos y hojas, se seleccionaron tres plantas al azar por cada tratamiento. El contenido de minerales en hojas se determinó al realizar tres muestreos en un intervalo de 20 días partiendo del inicio de la floración. La determinación de minerales en frutos se realizó en el primer corte cuando se tomaron 3 muestras al azar de las 10 repeticiones por tratamiento. El proceso de análisis de minerales correspondientes a Ca, Mg, K, y P se realizó en dos etapas, la extracción y cuantificación. Para la extracción, las muestras fueron secadas en una estufa Modelo Felisa FE-291 a 70° C durante 72 horas, estas fueron molidas y un gramo de la muestra fue sometida al proceso de calcinación a 600 °C durante dos horas, las cenizas obtenidas se recuperaron con ácido clorhídrico 1:1, y se aforo a 100 ml con agua destilada. En la segunda fase la concentración de los minerales Ca, Mg, y K (mg kg<sup>-1</sup>) se leyeron en un espectrofotómetro de absorción atómica Varían Spectrc AA5, mientras que la concentración de

fosforo ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) se realizó obteniendo la absorbancia por fotocolorimetría con una longitud de onda de 660nm en un espectrofotómetro Spectronic GENESYS 20. El Nitrógeno (%) se determinó utilizando el procedimiento modificado de la digestión del micro-Kjeldahl (Jones, 1991).

### **Biomasa Total**

Para determinar la biomasa (g) se realizó un muestreo destructivo de tres plantas seleccionadas al azar en cada tratamiento. Se pesaron las muestras en una balanza Scout® Pro con una escala 0 – 1000 g para obtener peso fresco; posteriormente, las plantas fueron colocadas en bolsas de papel estraza y puestas dentro de una estufa de secado marca Felisa FE 291 a 70 °C por cuatro días y luego se obtuvo el peso seco.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Parámetros Foliare

El efecto obtenido al aplicar biorreguladores sobre la temperatura de la hoja se muestra en la Figura 1. Los tratamientos individuales con giberelinas  $A_{4/7}$  al compararse con el control, incrementaron significativamente la temperatura de la hoja (DMS  $P \leq 0.05$ ); mientras que las aplicaciones con P-Ca y 6-BAP a  $50 \text{ mg L}^{-1}$  mostraron la menor temperatura en el tejido.

Ferreyra *et al.*, (2002) han relacionado la temperatura de la planta con la evolución del estado hídrico de la misma; efecto que ellos relacionan con las variaciones de aporte de agua a los tejidos. Goldhamer *et al.*, (1999) y Matthews *et al.*, (1987) indican que la temperatura de la planta está relacionada con el estrés hídrico, al cerrarse los estomas, la temperatura de las hojas aumenta para disipar la energía proveniente del sol.

Las giberelinas son hormonas que incrementan elongación celular originando un mayor flujo de agua hacia el tejido; condición que provocaría una mayor fluctuación de la temperatura de la hoja y manifestarse un déficit hídrico más rápido (Ramírez *et al.*, 2016a) tal y como se puede apreciar en el Cuadro 1 donde la eficiencia intrínseca  $((\mu\text{molCO}_2) (\text{mmolH}_2\text{O})^{-1})$  que mostraron las plantas sometidas bajo tratamiento fueron menores al testigo en el primer muestreo. La P-Ca es un retardante vegetal que ocasiona en plantas un cierre parcial de estomas y por lo tanto una reducción en la pérdida de agua a través de la hoja (Rademacher, 2004) lo que ocasiona que esta hormona incremente ligeramente la temperatura de la hoja teniendo una eficiencia intrínseca del uso del agua  $((\mu\text{molCO}_2)(\text{mmolH}_2\text{O})^{-1})$  (Cuadro 1) menor que el testigo.

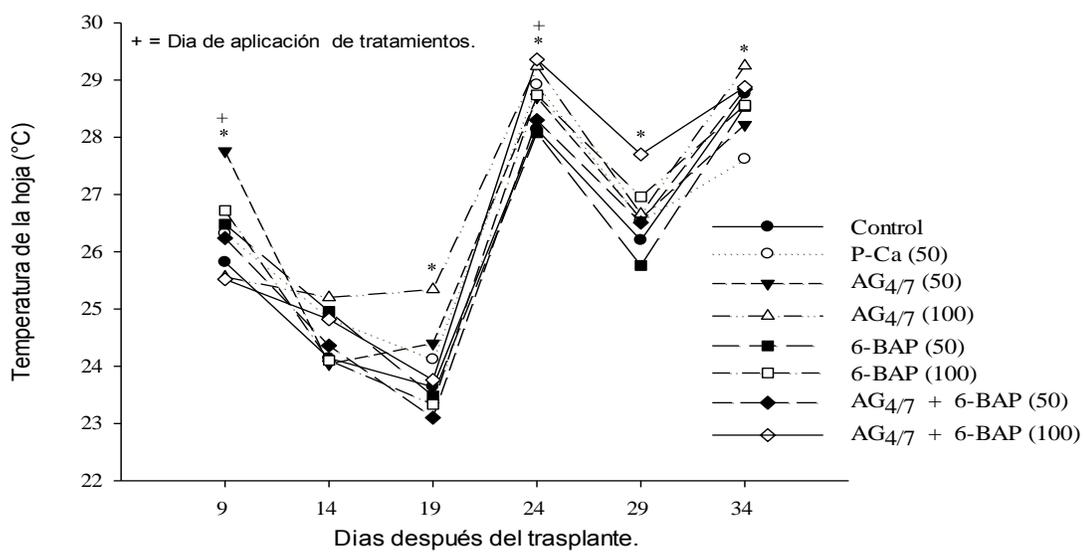


Figura 1. Efecto de biorreguladores en la temperatura de la hoja de plantas de tomate saladette híbrido "Raptor-F1".

El contenido de clorofila en las hojas de todos los tratamientos con biorreguladores fué menor que el control (Figura 2). Los niveles de clorofila en las hojas tratadas con P-Ca estuvieron cercanas al control. Bekheta *et al.*, (2009) demostraron en plantas de haba que P-Ca a 10, 20 y 30 mg L<sup>-1</sup> aumentaron el contenido de pigmentos.

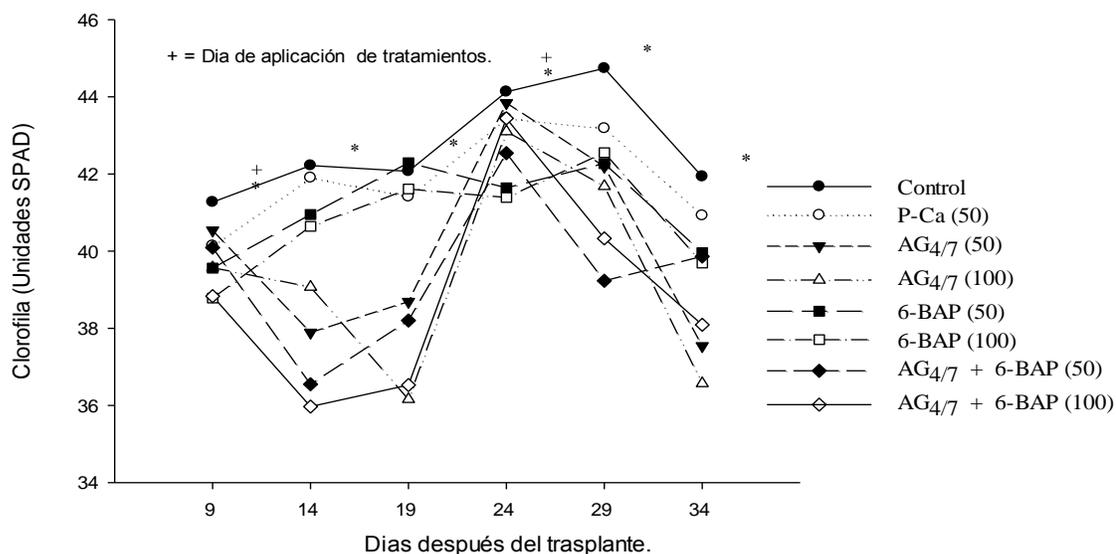


Figura 2. Efecto de biorreguladores en el contenido de clorofila de plantas de tomate saladette híbrido "Raptor-F1".

Fletcher y Hofestra (1985) propusieron que la aplicación óptima de biorreguladores causan mejoras en diversas plantas vegetales como el aumento de niveles de clorofila y una amplia gama de cloroplastos. Los autores realizaron sus estudios con plantas a campo abierto. El presente estudio fue realizado en invernadero y con diferentes concentraciones de biorreguladores. La menor cantidad de clorofila observada entre ellos pudiera reflejar el concepto de concentración supraóptima reportada en otros cultivos (Rademacher, 2000). Es importante señalar que la clorofila es un factor de crecimiento exponencial en la planta que a menudo adopta una curva que crece a inicios del cultivo pero que suele disminuir al finalizar el ciclo de producción (Zermeño *et al.*, 2015). Este comportamiento natural se modificó al aplicar AG<sub>4/7</sub> a 50 y 100 mg L<sup>-1</sup>; y, con la combinación de AG<sub>4/7</sub> y 6-BAP a 50 y 100 mg L<sup>-1</sup>. Se puede observar que días después de las aplicaciones, el verdor de las hojas (representadas en unidades SPAD) se reduce de forma inmediata y logra recuperarse 15 días después de la aplicación (Figura 2). P-Ca sigue un patrón natural de producción de clorofila, lo cual podría explicarse por su capacidad

para inhibir la formación de giberelinas biológicamente activas (Ramírez *et al.*, 2003; Ramírez *et al.*, 2016a). Las plantas asperjadas con 6-BAP a concentraciones de 50 y 100 mg L<sup>-1</sup> mostraron valores menores a P-Ca, sin embargo el comportamiento de la curva de clorofila no se vio afectada, esto concuerda con lo reportado por Ros *et al.*, (2004) quienes observaron estas mismas tendencias al realizar aplicaciones de 6-BAP en un cultivo de algodón. En el Cuadro 1 se presentan los efectos de biorreguladores sobre la fotosíntesis ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), transpiración foliar ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) y la eficiencia intrínseca del uso del agua ( $(\mu\text{molCO}_2) (\text{mmolH}_2\text{O})^{-1}$ ) en hojas. Se observa en la mayoría de los tratamientos con biorreguladores no modificaron adversamente esos procesos fisiológicos y por lo tanto pueden ser considerados muy positivos para futuros estudios que permitan ampliar más el conocimiento sobre fotosíntesis y conductancia estomática en tomate bajo condiciones de invernadero.

Cuadro 1. Efecto de biorreguladores en la fotosíntesis, transpiración foliar y eficiencia hídrica en plantas de tomate saladette híbrido "Raptor-F1".

Tratamientos (mg L <sup>-1</sup> )	Fotosíntesis ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )		Transpiración foliar ( $\text{mmolH}_2\text{Om}^{-2}\text{S}^{-1}$ )		Eficiencia intrínseca ( $\mu\text{molCO}_2)(\text{mmolH}_2\text{O})^{-1}$ )	
	5 DD1A	37 DD2A	5 DD1A	37 DD2A	5 DD1A	37 DD2A
Control	24.10 a†	11.03 ab	9.49 c	5.30 a	2.52 a	2.18 b
P-Ca(50)	23.90 a	8.229 b	10.17 abc	3.97 ab	2.35 ab	2.53 b
AG <sub>4/7</sub> (50)	21.66 ab	10.39 ab	10.03 abc	2.27 b	2.17 bc	5.25 a
AG <sub>4/7</sub> (100)	20.00 ab	11.56 ab	10.17 abc	4.05 ab	1.95 cd	2.94 b
6-BAP(50)	21.98 ab	10.83 ab	10.72 ab	4.97 a	2.04 c	2.18 b
6-BAP(100)	16.78 b	12.59 a	9.58 bc	4.04 ab	1.75 d	3.14 b
AG <sub>4/7</sub> +6-BAP(50)	23.70 a	10.90 ab	11.16 a	3.70 ab	2.13 bc	3.45 b
AG <sub>4/7</sub> +6-BAP(100)	19.31 ab	10.13 ab	9.91 a	3.84 ab	1.95 cd	3.10 b
CV (%).	14.89	21.68	9.71	38.64	11.50	48.67
SE.	*	*	*	*	*	*

† Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba DMS; \*=Diferencias significativas a una  $P \leq 0.05$ ; SE = Significancia Estadística; CV=Coeficiente de variación; DD1A=Días después de la primera aplicación. DD2A=Días después de la segunda aplicación. Cada valor representa el promedio de 6 plantas.

### **Biomasa Total**

En la figura 3 se presenta la biomasa fresca y seca total de los tratamientos. P-Ca y 6-BAP a  $50 \text{ mg L}^{-1}$ , fueron similares ( $P \leq 0.05$ ) al control en la variable peso fresco total (PFT). En previas investigaciones P-Ca en dosis superiores a  $100 \text{ mg L}^{-1}$  incrementó el número de hojas, diámetro del tallo y número de entrenudos así como la biomasa fresca y seca de la planta (Ramirez *et al.*, 2016a). En manzano Golden Delicious también fue observada esta relación (Ramirez *et al.*, 2003). Esto evidencia el hecho de que P-Ca es un bloqueador de síntesis de giberelinas biológicamente activas (Rademacher, 2004) que actúa como retardante de crecimiento apical y estimula la síntesis de citocininas originando el incremento vegetativo de otros órganos de la planta (Costa, *et al.*, 2004a). Esa experiencia llevaría a considerar en el presente estudio el no efecto debido a baja dosis de esos biorreguladores empleados en tomate.

En peso seco total (PST) (Figura 3) se observó una diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ) entre los tratamientos donde  $AG_{4/7} + 6\text{-BAP}$  mostraron ser efectivos al aumentar la materia seca de las plantas. Estos efectos han sido observados en cacao por Cárdenas-Hernández *et al.*, (2010) quienes evaluaron el efecto del ácido giberélico y la 6-bencilaminopurina sobre el desarrollo de yemas en injertos de esa especie. A nivel general estos resultados apoyan el postulado de que las giberelinas y 6-BAP promueven la elongación celular, aumentando el crecimiento de la planta (El Fouly *et al.*, 1988; Wilson-García *et al.*, 2007).

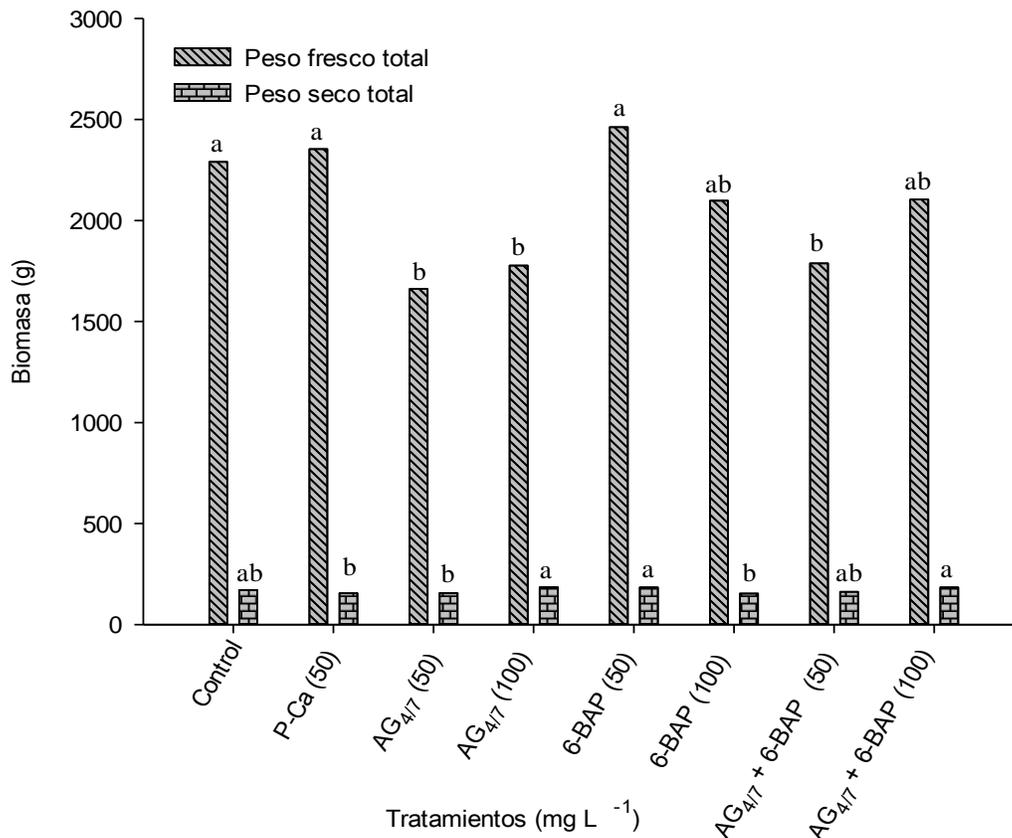


Figura 3. Influencia de biorreguladores en la biomasa fresca y seca total en plantas de tomate saladette híbrido "Raptor-F1".

La aplicación de cualquier biorregulador no alteró el contenido de N, Mg y Ca en hojas (Cuadro 2). De acuerdo a Gutiérrez (1997) el flujo de minerales en plantas es variado ya que depende de la disponibilidad y de la demanda entre órganos así como la etapa fenológica de la misma, sin embargo estos elementos son requeridos para el metabolismo de la planta ya que cumplen funciones estructurales en las moléculas orgánicas, en la reserva energética e iónica y reacciones redox (Aven *et al.*, 1992). En base a esas experiencias, los efectos en la fisiología del tomate observados en este estudio (Cuadro 2) son interesantes al no observar detrimento en los niveles de nutrientes.

Cuadro 2. Efecto de biorreguladores en el contenido de minerales en hojas de plantas de tomate saladette hibrido "Raptor-F1".

Tratamientos (mg L <sup>-1</sup> )	N %	P	K	Mg (mg kg <sup>-1</sup> )	Ca
Control	3.05 a †	2562.74 a	24466.66 ab	4383.33 a	36933.33 a
P-Ca(50)	3.23 a	2669.41 a	21800.00 b	4370.00 a	39800.00 a
AG <sub>4/7</sub> (50)	3.32 a	2563.52 a	21233.33 b	4316.66 a	38000.00 a
AG <sub>4/7</sub> (100)	3.26 a	2447.45 ab	22400.00 b	4366.66 a	36066.66 a
6-BAP(50)	3.08 a	2561.17 a	25100.00 ab	4340.00 a	35733.33 a
6-BAP(100)	3.08 a	2463.92 ab	23600.00 ab	4363.33 a	36566.66 a
AG <sub>4/7</sub> +6-BAP(50)	3.11 a	2502.35 ab	27800.00 a	4420.00 a	35266.66 a
AG <sub>4/7</sub> +6-BAP(100)	3.14 a	1960.39 a	26800.00 a	4406.66 a	34500.00 a
CV.	8.50	20.73	15.4744	2.2418	14.1219
SE.	NS	*	*	NS	NS

† Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba DMS; \*=Diferencias significativas a una  $P \leq 0.05$ ; NS= Diferencias no significativas a una  $P \leq 0.05$ ; SE= Significancia Estadística; CV=Coeficiente de variación; Cada valor representa el promedio de 6 plantas.

En la mayoría de los tratamientos, el contenido de fosforo fue similar al control; mientras que, el contenido de potasio fue mayor en los tratamientos AG<sub>4/7</sub> + 6-BAP a cualquier dosis (Cuadro 2). La eficiencia de los biorreguladores en la nutrición vegetal ha sido relacionada con la translocación de nutrientes hacia determinados tejidos (Rademacher, 2004; Medjdoub *et al.*, 2002) en donde se puede causar un estímulo o inhibición de su aparición o desarrollo (Ramírez *et al.*, 2010).

El cuadro 3 muestra los niveles de Nitrógeno acumulados en el fruto. Los tratamientos AG<sub>4/7</sub> a 50mg L<sup>-1</sup> y AG<sub>4/7</sub>+ 6-BAP a 100 mg L<sup>-1</sup> presentaron una mayor cantidad de este elemento superando al control en un 2.1 y 8.0 % respectivamente. Se ha demostrado que el Nitrógeno está relacionado directamente con el contenido proteico y es también un promotor de la síntesis y producción de azúcar en los frutos (Kjellbom y Larsson, 1984). En un estudio realizado por Ramírez *et al.*, (2016a) se demostró que AG<sub>4/7</sub> a 100 mg L<sup>-1</sup> incremento el contenido de grados brix y firmeza y prolongó la vida de anaquel en los frutos. Lo anterior es relevante puesto que a mayor contenido

de azúcar en el fruto existe la posibilidad de una menor vida de anaquel (Siller-Cepeda *et al.*, 2004).

El contenido de fósforo en frutos varió entre tratamientos (Cuadro 3). Los biorreguladores AG<sub>4/7</sub> y 6-BAP a 100 mg L<sup>-1</sup> mostraron incrementos de 9.4 y 9.7% respectivamente con relación al control. Gutiérrez, (1997) demostró que el fósforo es translocado en mayor cantidad a los frutos cuando estos inician su desarrollo. El contenido de potasio no se vio afectado por los biorreguladores y mantuvieron niveles similares al control. Ramírez *et al.*, (2010) demostraron que P-Ca no afecta los niveles de K en frutos de tomate de cascara. Barrera *et al.*, (2008) reportaron que el contenido de potasio en la planta oscila entre 2.7% y 4.5 %, influye en la fotosíntesis, transporte de los carbohidratos y desempeña un papel importante como elemento antagónico del nitrógeno en frutos, además de que regula la entrada y el metabolismo de los nutrimentos.

En medicina humana el potasio ocupa el tercer puesto dentro de los minerales que más actúan en nuestro organismo y desempeña un papel importante en la mayoría de las funciones vitales (Hopkinson *et al.*, 1998), sin embargo, Hobson y Davies (1980) indican que una alta concentración de potasio en fruto se asocia a una baja calidad del mismo.

Un ligero y menor contenido de magnesio en frutos resultó en la mayoría de los tratamientos con biorreguladores (Cuadro 3). Es posible que esta variación sea provocada por la concentración de hormonas utilizada y por el estado fisiológico del momento en el desarrollo-maduración del fruto. Gutiérrez (1997), menciona que el flujo de Mg en plantas es variado y depende de la disponibilidad y demanda entre órganos de la planta y la etapa de desarrollo de la misma. Por otro lado Betancourt y Pierre (2013) señalan que el orden de concentración del Mg en tomate es de, hoja > tallo > fruto > raíz, haciendo posible demostrar que la cantidad de Mg que se acumula en frutos depende de la cantidad almacenada en tallos y hojas. Esto se refleja al comparar el Mg hallado en hojas (Cuadro 2) donde las plantas asperjadas con los biorreguladores fueron similares al control, condición que pudo provocar un envío desequilibrado de Mg hacia los frutos. Lo anterior reflejaría la mayor cantidad de Mg observada

en hojas al compararse con frutos. Estos datos coinciden con los publicados por Fayad *et al.*, (2002) quienes reportaron una mayor acumulación de Mg en la parte vegetativa del tomate con relación al fruto.

Se puede observar que el contenido de calcio fue mayor en el tratamiento 6-BAP a 50 mg L<sup>-1</sup> (Cuadro 3); mientras que P-Ca a 50 mg L<sup>-1</sup> también mostró una tendencia mayor al control. Betancourt y Pierre (2013) observaron que el nivel de Ca acumulado en frutos de tomate fue gradual partiendo de hojas > tallos, y que generalmente la acumulación en frutos suele ser muy baja; esto, presumiblemente debido a que el Ca tiene poca movilidad en el floema, transportándose en la planta básicamente a través del xilema (Malone *et al.*, 2002). Es importante considerar entonces que el alto nivel de Ca con 6-BAP y P-Ca al 50 mg L<sup>-1</sup> resalta el potencial de estos biorreguladores como buenas alternativas para incrementar la calidad en el fruto de tomate.

Cuadro 3. Efecto de biorreguladores en el contenido de minerales en frutos de tomate saladette híbrido "Raptor-F1".

Tratamientos (mg L <sup>-1</sup> )	N %	P	K	Mg (mg kg <sup>-1</sup> )	Ca
Control	2.74 ab †	2169.01 abc	41233.33 a	1966.66 a	2200.00 abc
P-Ca (50)	2.68 ab	2273.33 ab	38133.33 a	1860.00 ab	2300.00 ab
AG <sub>4/7</sub> (50)	2.80 a	2053.72 bc	35166.66 a	1686.66 b	1933.33 bc
AG <sub>4/7</sub> (100)	2.56 ab	2374.50 a	37733.33 a	1770.00 ab	2233.33 ab
6-BAP (50)	2.59 ab	1986.27 c	36000.00 a	1720.00 ab	2366.66 a
6-BAP (100)	2.38 b	2380.00 a	38300.00 a	1856.66 ab	2100.00 abc
AG <sub>4/7</sub> +6-BAP (50)	2.74 ab	2237.25 ab	39800.00 a	1803.33 ab	1833.33 c
AG <sub>4/7</sub> +6-BAP (100)	2.96 a	2283.52 ab	38600.00 a	1790.00 ab	2066.66 abc
CV (%).	12.80	9.43	14.10	9.66	15.74
SE.	*	*	NS	*	*

† Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba DMS; \* = Diferencias significativas a una  $P \leq 0.05$ ; SE = Significancia Estadística; NS = Diferencias no significativas a una  $P \leq 0.05$ ; CV = Coeficiente de variación; Cada valor representa el promedio de 6 plantas.

## Rendimiento

La figura 4 muestra que el rendimiento en los tratamientos 6-BAP y P-Ca en 50 mg L<sup>-1</sup> fue similar al testigo. Este comportamiento podría deberse al efecto concentración. Previas investigaciones (Ramírez *et al.* 2010) reportan que la P-Ca a 200 mg L<sup>-1</sup> incremento el rendimiento en 83 % en tomate de cascara. Esta influencia que ha tenido P-Ca en aumentar el rendimiento, también se obtuvo en pera (Costa *et al.*, 2004a) y manzano (Greene, 1996; Unrath, 1999; Basak y Rademacher, 2000). El resto de los tratamientos tuvieron una tendencia a tener un rendimiento menor que el control. Este efecto puede reflejar mayor estímulo a desarrollo vegetativo el cual compitió con la formación floral y por lo tanto menos rendimiento (Rademacher, 2004).

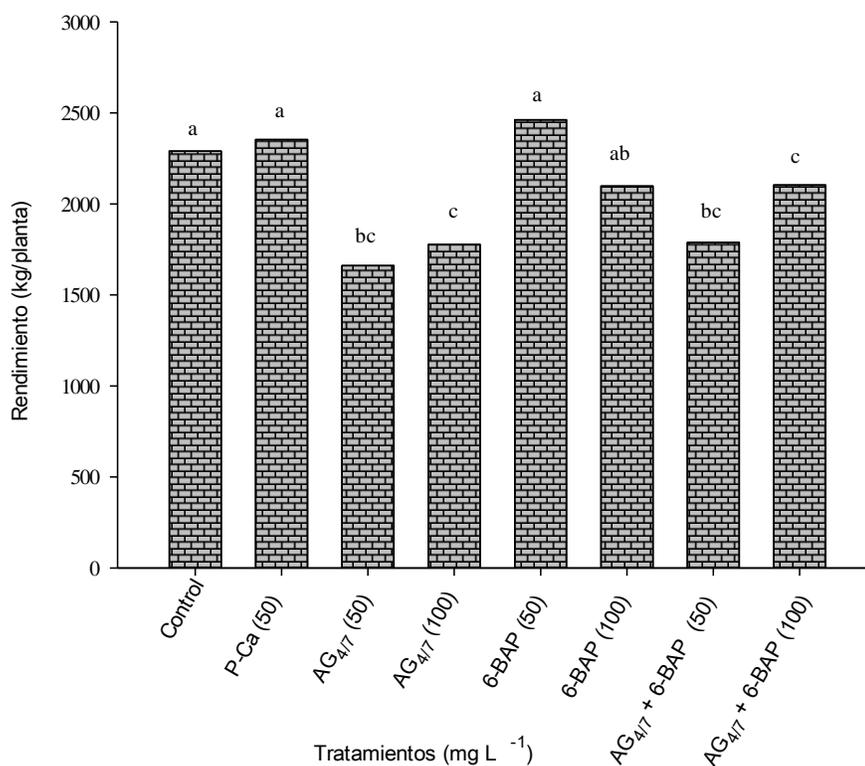


Figura 4. Influencia de biorreguladores en el rendimiento de plantas de tomate saladette híbrido "Raptor-F1".

## **Antioxidantes**

El efecto de los tratamientos sobre el contenido de licopeno y vitamina C en frutos de tomate se muestra en el cuadro 4. La combinación de AG<sub>4/7</sub> + 6-BAP a 100 mg L<sup>-1</sup> originó aumentos significativos en ambos antioxidantes; estos, superaron al control en un 55.4% y 47.8% en licopeno y vitamina C respectivamente. Las concentraciones individuales de AG<sub>4/7</sub> mostraron tendencias en mayor contenido de los dos antioxidantes; mientras que la P-Ca también reflejó ese efecto para la vitamina C. Previa investigación demuestra que P-Ca incrementa el contenido de vitamina C y licopeno en tomate rojo (Ramírez *et al.*, 2003) y chile habanero (Ramírez *et al.*, 2016b). Estos hallazgos permiten catalogar a P-Ca como un retardante que incrementa el contenido de antioxidantes lo cual repercute en una buena salud en los seres humanos ya que fortalece el sistema inmunológico que da protección contra enfermedades como la diabetes, el cáncer y la presión arterial (Ramírez *et al.*, 2010). Poca información existe sobre el estímulo de giberelinas y citocininas en la síntesis de licopeno y vitamina C en tomate (Ramírez *et al.*, 2010). Por lo tanto, más investigación es necesaria sobre este tema.

El mayor contenido en licopeno y vitamina C observado en varios tratamientos con biorreguladores otorga un valor agregado al fruto. Esta característica permite un precio mayor en el mercado internacional que el de un tomate con niveles normales de esos antioxidantes (Ramírez, *et al.*, 2016a); lo que compensa un rendimiento igual o quizás menor al del control.

Cuadro 4. Efecto de biorreguladores en el contenido de licopeno y vitamina C en frutos de tomate saladette híbrido "Raptor-F1".

Tratamientos (mg L <sup>-1</sup> )	Licopeno (mg L <sup>-1</sup> )	Vitamina C (mg 100g)
Control	3.23 abcd	14.48 b
P-Ca(50)	3.83 abc	15.62 ab
AG <sub>4/7</sub> (50)	3.92 ab	19.80 ab
AG <sub>4/7</sub> (100)	2.61 bc	20.26 ab
6-BAP(50)	2.63 bc	14.46 b
6-BAP(100)	1.75 c	14.55 b
AG <sub>4/7</sub> +6-BAP(50)	4.11 ab	20.61 ab
AG <sub>4/7</sub> +6-BAP(100)	5.02 a	21.41 a
CV (%).	66.41	29.83
SE.	*	*

† Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba DMS; \*=Diferencias significativas a una  $P \leq 0.05$ ; CV=Coeficiente de variación; SE=Significancia Estadística; Cada valor representa el promedio de 10 plantas.

## CONCLUSIONES

En tomate saladette híbrido "Raptor-F1" cultivado en invernadero, los biorreguladores P-Ca y 6-BAP a  $50 \text{ mg L}^{-1}$  no alteran la fisiología foliar y rendimiento; incrementan el nivel de potasio en hojas y de nitrógeno y calcio en frutos. 6-BAP a  $50 \text{ mg L}^{-1}$  incrementa la materia fresca y seca de la planta; al combinarse con las giberelinas  $A_{4/7}$  a  $100 \text{ mg L}^{-1}$  aumentan el contenido de vitamina C y licopeno en frutos.

## REFERENCIAS

- Aven, P., Evert, F. y Eichhorn, S. E. 1992. Biología de las plantas. Volumen 2. Traducido al español por Santamaría, S., Lloret, F., Mas, M. y Cardona, M. Editorial Reverté. Barcelona, España. 773 p.
- Barrera, L., Basilo, P., Durango, P. y Ramos, A. 2008. Efecto de las épocas de lluvia y sequía sobre la absorción de potasio y fósforo en las plantaciones de plátano. *Acta Agronómica*, 57(1),55- 59.
- Basak, A. y Rademacher, W. 2000. Growth regulation of pome and stone fruits trees by use of Prohexadione-Ca. *Acta Horticulturae*, 514(1), 41-50.
- Bar-tsur, A., Rudich, J. y Bravdo, B. 1985. Photosynthesis, transpiration and stomatal resistance to gas exchange in tomato plants under high temperatures. *Hortscience*, 60(3),405-410.
- Beadle, C., Long, S., Imbomba, S., Hall D. y Olembo R. 1985. Photosynthesis in relation to plant production in terrestrial ecosystems (PhD thesis) .Tycooly International, Oxford, 568 p.
- Bekheta, M., Abdelhamid, M. y El-Morsi, A. 2009. Physiological response of viciafaba to prohexadione-Calcium under saline conditions. *Planta Daninha* , 27(49),769-779.
- Betancourt, P. y Pierre, F. 2013. Extracción de macronutrientes por el cultivo de Tomate (*Solanum lycopersicum* Mill var. Alba) en casas de cultivo en Quibor. Estado de Lara. *Bioagro*,25(3),181-188.
- Bleyaert, P. 1991. A study of plant-water relations in tomato. A contribution to the optimization of irrigation (PhD thesis) .GhentiBelgio, p, 333.
- Cardenas-Hernandez, J., Álvarez-Herrera, J., Barragan, E. y Rivera, C. 2010. Efecto del ácido giberélico y la 6-bencilaminopurina sobre el desarrollo de yemas en injertos de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Agronomía Colombiana*, 28(1) ,19-27.
- Carlos, E., Montealegre, C., Chico, J. y Vargas, C. 2007. Efecto del ácido indolbutírico (IBA) y 6-Bencilaminopurina (BAP) en el desarrollo *In vitro* de yemas axilares de *Encyclia Microtos* (RCHB.F.) HOEHNE (ORCHIDACEAE). *Lankesteriana*, 7(1-1), 247-254.

- Carrilo-Fasio, J., Montoya-Rodriguez, T., Garcia-Estrada, R., Cruz-Ortega, J., Marquez-Zequera, I. y Sañudo-Barajas A. 2003. Razas de *Fusarium oxysporum* f.sp.*lycopersici* Snyder y Hansen, en Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en el Valle de Culiacan, Sinaloa, México. *Revista Mexicana de FITOPATOLOGIA*, 21(2),123-126.
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (1990). *Guia para el manejo integrado de plagas para el cultivo de tomate*. Programa de mejoramiento de cultivos tropicales. Turrialba, Costa Rica. 138 pp.
- Costa, G., Sabatini, E., Spinelli, F., Andreotti, C., Spada, G. y Mazini, F. 2004a. Prohexadione-Ca control vegetative growth and cropping performance in pear. *Acta Horticulturae*, 653,43-48.
- Costa, G., Sabatini, E., Spinelli, F., Andreotti, C., Bomben, C. y Vizzotto, G. 2004b. Two years of application of prohexdione-Ca on apple: effect on vegetative and cropping performance, fruit quality, return bloom and residual effect. *Acta Horticulturae*, 653,35-40.
- Checa, J. 1996. Las hormonas vegetales. *Agrícola-Vergel*, 12, 1-14.
- Davis, A., Fish, W. y Perkins-Veazie, P. 2003. A rapid hexane-free for analysing lycopene content in watermelon. *Journal of Food Science*, 68(1),328-332.
- El Fouly, M., Sakr, R., Fouad, M., Zaher, A. y Fawzi, A. 1988. Efecto de GA, CCC y B-9 en los personajes morfofisiológicos y el rendimiento de frijoles (*Phaseolus vulgaris* L.) *Journal of Crop Sciences Agronomía*, 160(1), 94-101.
- Evans, R., Ishida, C., Regusci, C. y Rademacher, W. 1997. Mode of action, metabolism and uptake of BAS-125W Prohexadione-calcium. *HortScience*, 324(2), 557-558.
- Evans, L., Evans, R., Regusci, C. y Rademache, W. 1999. Mode of action, metabolism and uptake of BAS-125W Prohexadione-calcium. *HortScience*, 34, 1200-1201.
- Fayad, J., Fontes, P., Cardoso, A., Finger, F. y Ferreira, F. 2002. Absorcao de nutrientes pelo tomateiro cultivado sobcondicoes de campo e de ambiente protegido. *Horticultura Brasileira*, 20(1),90-94.
- Fallahi, E. 1999. Metabolism, action and use of BAS-125W in apples. *HortScience*, 34,1192-1193.

- Ferreyra, E., Selles, V., Peralta, A., Burgos, L. y Valenzuela, J. 2002. Efectos de la restricción del riego en distintos periodos de desarrollo de la vid CV. Cabernet sauvignon sobre producción y calidad del vino. *Agricultura Técnico*, 62(3),406-417.
- Fletcher, R. y Hofstra, G. 1985. Triadimefon a plant multi-protectant. *Plant Cell Phisiol*, 26(4), 775-780.
- Gonzales, M., Caycedo, C., Velásquez, M., Flórez, V. y Garzón. M. 2007. Efecto de la aplicación del ácido giberélico sobre el crecimiento de FROLÀRU Brassicaoleraceae L.) var. Botrytis DC. *Agronomía Colombiana*, 25(1), 54-61.
- Goldhamer, A., E. Fereres, y Cohen, M. 1999. Sensitivity of continuous and discrete plant and soil water status monitoring in peach trees subjected to deficit irrigation. *J. Am. Soc. Hortic Sci*, 124, 437-444.
- Greene, W. 1996. The use of BAS 125W to control growth of apple trees. *Proceedings PGRSA*, 24(2), 59.
- Gutiérrez, M. 1997. Nutrición mineral de las plantas: avances y aplicaciones. *Agronomía Costarricense*, 21(1),127-137.
- Hobson, G. y Davies, J. 1980. *The Biochemistry of Fruits and Their Products*. Vol. 2. Academic Press Inc. Ed. A.C. Hulme. London and New York. 788 p.
- Hopkinson, D. Bhabra, M, y Hooper, T. 1998. Pulmonary graft preservation: a worldwide survey of current clinical practice. *J Heart Lung Transplant*, 17,525-31.
- Jones, J. 1991. Kjeldahl method for nitrogen determination. *MicroMacro Publ.*, Athens, GA. 79 p.
- Kjellbom, P. y Larsson, C. 1984. Prepartion and polypeptide composition of chlorophyll-free plasma membranes from leaves of light-griwgn spinach and barley. *Physiology Plant*, 62,501-509.
- Malone, M., White, P. y Morales, M. 2002. Mobilization of calcium in glasshouse tomato plants by localized scorching. *Journal of Exprimental Botany*, 53(336),83-88.
- Malonek, S., Bomke, C., Bornberg-Bauer, E., Rojas, M., Hedden, P., Hopkins, P., y Tudzynski, B. 2005. Distribution of gibberellin biosynthetic genes and gibberellin production in the Gibberellafujikuroi species complex. *Phytochemistry*, 66, 1296-1311.

- Matthews, M., Anderson, M. y Shultz, H. 1987. Phenologic and growth responses to early and late season water deficits in Cabernet franc. *Vitis*, 26,147-160.
- Marquez-Hernandez, C., Cano-Rios, P., Chew-Madinaveitia, I., Moreno-Resendez, A. y Rodriguez-Dimas N. 2006. Sustratos de la producción organica de tomate cherry bajo invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 12(2),183-189.
- Medjdoub, R., Bordonaba, M., Pilar, A., Val, J. y Blanco, A. 2002. Efecto del prohexadione-ca sobre el crecimiento y la nutrición del manzano. *Actas del IX Simposio Ibérico sobre Nutrición Mineral de las Plantas*. 10-13 Septiembre, Zaragoza-España.
- Nakayama, I., Miyazawa, T., Kobayashi, M., Kamiya, Y., Abe, H. y Sakurai, A. 1990. Effects of a new plant growth regulator prohexadione calcium (BX-112) on shoot elongation caused by exogenously applied gibberellins in rice (*Oryza sativa* L) seedlings. *Plant and Cell Physiology*, 31(2),195-200.
- Nakayama, I., Kobayashi, M., Kamiya, Y., Abe, H., y Sakurai, A. 1992. Effects of a plant-growth regulator, prohexadione-calcium (BX-112), on the endogenous levels of gibberellins in rice. *Plant and Cell Physiology*, 33(1),59-62.
- Nickell, L. 1988. Plant growth regulator use in cane and sugar production. *Update. Sugar Journal*, 50,7-11.
- Owens, L. y Stover, E. 1999. Vegetative growth and flowering of young apple trees in response to prohexadione–calcium. *HortScience*, 34(7),1194-1196.
- Padayatt, J., Daruwala, R., Wang, Y., Eck, P., Song, J., Koch, W. y Levine, M. 2001. Vitamin C: from molecular actions to optimum intake. In: *Handbook of antioxidants*. Cadenzas, E. y Packer, L., (eds) 2nd edition. CRC press. Washington DC, USA. 117-145.
- Pierik, R. 1990. *Cultivo in vitro de plantas superiores*. Ediorial Mundi Prensa. Madrid, España.
- Rademacher, W. 2000. Growth retardants: Effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. *Molecular Biology*, 51,501-531.
- Rademacher, W. 2004. Chemical regulation of shoot growth in fruit trees. *Acta Horticulturae*, 653,9-15.

- Ramírez, H., Gómez-Castañeda, J., Benavides-Mendoza, A., Robledo-Torres, V., Encina-Rodríguez, L. y Coello-Coutiño, C. 2003. Influencia de Prohexadiona-Ca sobre crecimiento vegetativo- producción y calidad de fruto en manzano (*Malus domestica* Borkh). Revista Chapingo Serie Horticultura, 9(2),279-289.
- Ramírez, H., Rivera-Cruz, C., Benavides-Mendoza, A., Robledo-Torres, V. y Reyna-Sustaita, G. 2010. Prohexadiona-Ca, una alternativa en la producción de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Revista Chapingo Serie Horticultura, 16(2),139-146.
- Ramírez, H., Zavala-Ramírez, M., Sánchez-López, A., Aguilar-Zarate, P., Cristóbal-Aguilar, N., Rodríguez-García, R., Jasso-Cantú, D. Zermeño-González, A., Villareal-Quintanilla, J. y López-Fabián, A. 2016a. Tomato responses to bioregulators grown under greenhouse conditions. International Journal of plant & soil science, 10(6),1-13.
- Ramírez, H., Mendoza-Castellanos, J., Vázquez-Badillo, M. y Zermeño-González, A. 2016b. La prohexadiona de calcio (P-CA): una alternativa hormonal viable en chile habanero. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 7(3),631-641.
- Ros, A., Gómez, P., José, A., y Báidez, A. 2004. Incremento de la tolerancia frente a *Fusarium oxysporum* de plantas de algodón (var. Delta opalo) por tratamientos con 6-benzilaminopurina. In Metabolismo y modo de acción de fitohormonas, (pp. 231-236). Ediciones Universidad de Salamanca.
- Santiago, J., Mendoza, M. y Borrego F. 1998. Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum*, mill) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. AGRONOMIA MESOAMERICANA, 9(19), 59-65.
- Servicio de información agro alimentaria y pesquera., (2015). *México: Primer exportador mundial de tomate.* [online] Available at: <http://consulmex.sre.gob.mx/omaha/images/JITOMATE/jitomate.pdf>
- Siller-Cepeda, J., Muy-Rangel, D., Baez-Sañudo, M., García-Estrada, R. y Araiza-Lizarde. 2004. Calidad en frutos de carambola (*Avrroha carambola* L.) cosechada en cuatro estados de madurez. Revista Chapingo serie horticultura, 10(1),23-29.
- Stanghellini, C., Meurs, W. y Van, R. 1992. Environmental control of greenhouse crop transpiration. J. Agric. London Academic Press, 51(4),297-311.

- Tigabu, M. y Odén, C. 2001. Effect of scarification, gibberellic acid and temperature on seed germination of two multipurpose Albizia species from Ethiopia. *Seed Science and Technology*, 29,11-20.
- Unrath, C. 1999. Prohexadione–Ca: A promising chemical for controlling vegetative growth of apples. *HortScience*, 34,1191-1200.
- Weaver, J.R. *Reguladores de crecimiento de las plantas en la agricultura*. Trad. del inglés por Agustín Contin. Mexico. Trillas. 1990. pp. 358-400.
- Werein E. and Patrick J. 1975. Source-sink relations and partition of assimilates. In J. P. Cooper Celd, photosynthesis and productivity in different environments. Cambridge Univ. Press. p. 481-499.
- Williams, P. y Arias, I. 1978. Physio-ecological studies of plant species from the arid and semiarid regions of Venezuela. I. The role of endogenous inhibitors in the germination of the seeds of *Cereus griseus* (Haw.) Br. & R. (Cactaceae). *Acta Científica Venezolana*, 29,93-97.
- Wilson-García, C., Zavaleta-Mancera, A., López-Delgado, H. y Hernández-Garay A. 2007. La citocinina BAP retrasa senescencia, aumenta antioxidantes, proteína y crecimiento del pasto oculo (*Dactylis glomerata*L.). *Agrociencia*, 42,799-806.
- Zermeño, A., López, B., Melendrez, A., Ramírez, H., Cárdenas, J. y Munguía, J. 2015. Extracto de alga marina y su relación con fotosíntesis y rendimiento de una plantación de vid. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12,2437-2446.