

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO



RESPUESTA DE TOMATE A BIORREGULADORES CULTIVADO BAJO  
CONDICIONES DE INVERNADERO

**Tesis**

Que presenta MARÍA GUADALUPE ZAVALA RAMÍREZ

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

RESPUESTA DE TOMATE A BIORREGULADORES CULTIVADO BAJO  
CONDICIONES DE INVERNADERO

**Tesis**

Elaborada por MARÍA GUADALUPE ZAVALA RAMÍREZ como requisito parcial  
para obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERIA DE  
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN con la supervisión y aprobación del Comité de  
Asesoría

Dr. Homero Ramirez Rodríguez  
Asesor Principal

Dr. Alejandro Zermeno González  
Asesor

Dra. Diana Jasso Cantú  
Asesor

Dr. Raúl Rodríguez García  
Asesor

Dr. José Ángel Villarreal Quintanilla  
Asesor

Dr. Alberto Sandoval Rangel  
Subdirector de Posgrado  
UAAAN

## Agradecimientos

*“Mientras el río corra, los montes hagan sombra y en el cielo haya estrellas, debe durar la memoria del beneficio recibido en la mente del hombre agradecido”*

*Publio Virgilio Marón (70-19 a. C.)*

Agradezco a la vida mi existencia, pues con ello me da la oportunidad de gozar el impulso de quienes instruyeron mi vida hacia el camino del conocimiento a través de la preparación profesional, cuya satisfacción actual de manera personal es dar un paso más en el camino del aprendizaje, llegando a una meta y dando inicio a una nueva etapa.

*“Una planta no da óptimos rendimientos si no cuenta con una excelente nutrición y manejo, un alumno no obtiene excelente preparación si a su lado no cuenta con un buen equipo de experiencia y enseñanza”.*

Hoy doy mi agradecimiento:

Al reconocido doctor de nuestra universidad el **Dr. Homero Ramírez** por haber guiado mis pasos con la asesoría proporcionada para la realización de este proyecto de investigación.

Al **MC. Alfredo Sánchez López** e **Ing. Francisco Javier Alemán Granados** por su apoyo en la aportación de las plántulas para el proyecto de investigación y asesoramiento en el manejo del cultivo respectivamente.

Al **MC. Pedro Aguilar Zárate** y a la **TLQ. María Guadalupe Pérez Ovalle** por su incondicional apoyo para la realización de las pruebas analíticas de laboratorio en la Universidad Autónoma de Coahuila y en nuestra Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

A los Doctores **Alejandro Zermeño, Diana Jasso, Raúl Rodríguez** y **José Ángel Villareal** por haber supervisado el material obtenido del proyecto.

A los compañeros **MC. Mari Carmen** e **Ing. Abdiel López** que vivieron conmigo la realización de las prácticas en el invernadero y laboratorios a través de su responsabilidad y compañía.

## Dedicatoria

Con todo mi cariño y mi amor para las personas que hacen todo en la vida para que yo pueda lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando lo necesito, a ustedes por siempre mi corazón.

### A *Díos*

Por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

### A mi Madre *Elia Ramírez Jiménez:*

Por apoyarme en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido poder llegar hasta donde yo me lo propongo, pero sobre todo por su amor incondicional.

### A mi Padre *Alberto Zavala González:*

Con infinito amor, quien firmemente a través de su ejemplo ha sembrado en mi vida diaria la semilla de la nobleza, la responsabilidad, la aceptación cotidiana de retos, un carácter de firmeza y amor al estudio.

### A mis Hermanos: *Isaí, Aby y Alberto Zavala Ramírez:*

Quienes forman parte de mi existencia, compartiendo momentos importantes alrededor de nuestras vidas en compañía de nuestros padres, cuyo amor fraternal ha sido pieza importante para lograr nuestros sueños.

## Índice General

Agradecimientos.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Resumen .....	viii
Abstract.....	x
INTRODUCCIÓN .....	1
Objetivo.....	2
Hipótesis .....	2
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Generalidades del Cultivo de Tomate.....	3
Biorreguladores .....	3
Giberelinas .....	4
Citocininas.....	5
Retardantes de Crecimiento.....	5
Antioxidantes .....	9
MATERIALES Y MÉTODOS .....	11
Sitio Experimental y Diseño.....	11
Parámetros Fenológicos .....	12
Parámetros de Producción .....	12
Parámetros de Calidad .....	12
Antioxidantes.....	13
Contenido de Giberelinas Endógenas en los Ápices. ....	14
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	16
Crecimiento Vegetativo y Giberelinas.....	16
Numero de Flores y Frutos .....	19
Calidad del fruto .....	20
Rendimiento e Impacto Económico.....	24
CONCLUSIONES.....	26
REFERENCIAS .....	27

## Lista de Cuadros

<b>Cuadro 1.</b> Efecto de P-Ca en giberelinas endógenas en los ápices de tomate saladette híbrido "Raptor-F1" identificados por CG-EM.....	<b>19</b>
<b>Cuadro 2.</b> Efecto de biorreguladores sobre el número de hojas, flores, frutos y rendimiento en plantas de tomate saladette híbrido "Raptor-F1".....	<b>20</b>
<b>Cuadro 3.</b> Efecto de biorreguladores en la calidad del fruto de tomate saladette híbrido "Raptor-F1".....	<b>22</b>
<b>Cuadro 4.</b> Impacto económico de tomate saladette híbrido "Raptor-F1" tratado con biorreguladores.....	<b>25</b>

## Lista de Figuras

<b>Fig. 1.</b> Tasa de crecimiento del tallo principal de plantas de tomate saladette hibrido "Raptor-F1" después de haber sido tratadas con biorreguladores.....	<b>16</b>
<b>Fig. 2.</b> Tasa de crecimiento del diámetro del tallo de plantas de tomate saladette hibrido "Raptor-F1" después de haber sido tratadas con biorreguladores.....	<b>17</b>
<b>Fig. 3.</b> Influencia de biorreguladores en el contenido de vitamina C en frutos de tomate saladette hibrido "Raptor-F1" .....	<b>23</b>
<b>Fig. 4.</b> Influencia de biorreguladores en el contenido de licopeno en frutos de tomate saladette hibrido "Raptor-F1" .....	<b>24</b>

Resumen

RESPUESTA DE TOMATE A BIORREGULADORES CULTIVADO BAJO  
CONDICIONES DE INVERNADERO

POR

MARÍA GUADALUPE ZAVALA RAMÍREZ

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

DR. HOMERO RAMÍREZ RODRÍGUEZ -ASESOR-

Saltillo, Coahuila.

Julio 2016.

La horticultura contemporánea en invernadero exige el uso de nuevas tecnologías dirigidas a mejorar el rendimiento y calidad de frutos. Aunque el uso de biorreguladores es una importante contribución al aumento del rendimiento en hortalizas y frutas de campo abierto, poco se sabe sobre sus efectos en tomate cultivado en invernadero, por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar los efectos de prohexadiona-calcio (P-Ca), giberelinas<sub>4/7</sub> (GA<sub>4/7</sub>) y 6-bencilaminopurina (6-BAP) en el crecimiento, rendimiento y calidad del fruto en tomate saladette híbrido "Raptor-F1" en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México, durante Abril-Agosto 2015. Se realizaron dos aplicaciones de los tratamientos, la primera cuando las plantas presentaron los primeros primordios florales y la segunda 15 días después. Se utilizó un diseño estadístico completamente al azar con diez repeticiones por tratamiento. Los resultados obtenidos fueron analizados en el programa estadístico R usando la prueba DMS ( $P \leq 0.05$ ). P-Ca inhibió la síntesis de giberelinas A<sub>1</sub>, A<sub>4</sub> y A<sub>7</sub> en el ápice, redujo la altura de la planta y aumento el diámetro del tallo, número de flores, hojas, y frutos; GA<sub>4/7</sub> a 100 mg L<sup>-1</sup> incrementó la firmeza y °brix en frutos, y cuando se combinó con 6-BAP a 100 mg L<sup>-1</sup> aumentó el contenido de vitamina C y licopeno en frutos maduros; y se incrementó la relación beneficio-costos con los biorreguladores. Por lo anterior se concluye que P-Ca, GA<sub>4/7</sub> y 6-BAP provocan efectos positivos sobre el crecimiento, rendimiento y calidad del fruto en tomate saladette híbrido "Raptor-F1" bajo condiciones de invernadero.

**Palabras clave:** *Solanum lycopersicon* L., prohexadiona-ca, giberelinas, citocininas, licopeno.

Abstract

TOMATO RESPONSES TO BIOREGULATORS GROWN UNDER  
GREENHOUSE CONDITIONS

BY

MARÍA GUADALUPE ZAVALA RAMÍREZ

MASTER OF SCIENCE PRODUCTION SYSTEMS ENGINEERING  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. HOMERO RAMÍREZ RODRÍGUEZ -ADVISOR-

Saltillo, Coahuila.

July 2016.

Greenhouse contemporaneous horticulture requires the use of new technologies to improve the yield and quality of fruit. Although the use of bioregulators is an important contribution to increased performance in vegetables and fruits open field little is known about its effects on tomato grown in greenhouses, therefore, the aim of this research was to evaluate the effects of P-Ca, GA<sub>4/7</sub> and 6-BAP on the growth, yield and fruit quality in saladette tomato hybrid "Raptor-F1" at the Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, Mexico, during April-August 2015. Two applications of treatments were performed, the first when plants showed floral primordia and the second 15 days later. A completely randomized statistical design was used with ten replicates per treatment. The results obtained were analyzed with the statistical program R, using the DMS test ( $P \leq 0.05$ ). P-Ca inhibited the synthesis of gibberellins A<sub>1</sub>, A<sub>4</sub> and A<sub>7</sub> at the apex; reduced plant height and increased stem diameter, number of flowers, leaves and fruits; GA<sub>4/7</sub> at 100 mg L<sup>-1</sup> promoted firmness and °Brix in fruits; when combined with 6-BAP at 100 mg L<sup>-1</sup> increased the content of vitamin C and lycopene in ripen fruits; and the benefit-cost ratio was increased with bioregulators. Therefore it can be concluded that P-Ca, GA<sub>4/7</sub> and 6-BAP provoke positive effects on growth, yield and fruit quality in saladette tomato hybrid "Raptor-F1" growing under greenhouse conditions.

**Keywords:** *Solanum lycopersicon* L., prohexadione-ca, gibberellins, cytokinins, lycopene.

## INTRODUCCIÓN

El tomate cultivado (*Solanum lycopersicon L.*) es considerado como una de las hortalizas de mayor importancia en muchos países del mundo, por el gran número de productos que se obtienen. Mundialmente ocupa el segundo lugar en importancia entre las hortalizas debido a su nivel de producción (SAGARPA, 2005). En México, el tomate está considerado como la segunda especie hortícola más importante, debido a la superficie sembrada, y por sus niveles de producción. En el país se siembran alrededor de 81,000 ha con una producción de dos millones de toneladas (SAGARPA, 2005; Jiménez, 2003). El cultivo, la cosecha y la comercialización del tomate generan millones de empleos de manera directa e indirecta, lo que genera una importante contribución a la economía nacional. Por lo tanto está obligada así la búsqueda de nuevas tecnologías dirigidas a la mejora en el rendimiento y la calidad del fruto de este cultivo (Bombelli y Wright, 2006).

El uso de biorreguladores en la agricultura es una práctica utilizada para mejorar el rendimiento y la calidad de varios cultivos (Latimer, 1992). Estos compuestos se caracterizan por modificar temporalmente la acción de los genes. Este efecto es de gran valor ya que podría satisfacer la demanda del mercado relacionada con el rendimiento por hectárea, maduración temprana o tardía de frutos y frutas con alto contenido de antioxidantes (Nickell, 1988).

Prohexadiona de calcio (P-Ca) es un retardante de crecimiento que ha demostrado ser útil para el control del excesivo crecimiento vegetativo y para mejorar la calidad de la fruta en especies frutales de clima templado como pera, durazno y manzana, y en hortalizas como chile pimiento (Costa *et al.*, 2004; Ramírez *et al.*, 2005). La P-Ca reduce el crecimiento vegetativo mediante la inhibición de la síntesis de giberelinas biológicamente activas ( $A_1$ ,  $A_4$  y  $A_7$ ) en el ápice (Ramírez *et al.*, 2005). El retardante también aumenta el contenido de citocininas en el meristemo apical, que con frecuencia están

relacionadas con la formación de flores y cuajado de los frutos en Chile pimiento, manzana y cereza (Ramírez *et al.*, 2008; Rojas, 1980). El efecto de P-Ca, giberelinas y citocininas en tomate cultivado en invernadero es poco conocido (Ramírez *et al.*, 2008), por lo tanto, se requiere más información sobre este importante cultivo.

Sobre estas bases el objetivo de la presente investigación fue evaluar los efectos de prohexadiona de calcio, giberelinas<sub>4/7</sub> (GA<sub>4/7</sub>) y 6-bencilaminopurina (6-BAP) sobre el crecimiento vegetativo, rendimiento y calidad del fruto en tomate saladette híbrido "Raptor-F1" bajo condiciones de invernadero.

### **Objetivo**

Evaluar los efectos de prohexadiona de calcio (P-Ca), giberelinas<sub>4/7</sub> (GA<sub>4/7</sub>) y 6-bencilaminopurina (6-BAP) sobre el crecimiento vegetativo, rendimiento y calidad del fruto en tomate saladette híbrido "Raptor-F1" bajo condiciones de invernadero.

### **Hipótesis**

Prohexadiona de calcio (P-Ca), giberelinas<sub>4/7</sub> (GA<sub>4/7</sub>) y 6-bencilaminopurina (6-BAP) provocan efectos positivos sobre el crecimiento vegetativo, rendimiento y calidad del fruto en tomate saladette híbrido "Raptor-F1" bajo condiciones de invernadero.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### **Generalidades del Cultivo de Tomate**

El tomate tiene su centro de origen en América del Sur, entre el área de Perú y Ecuador, de donde se distribuyó a diferentes partes de América tropical, incluyendo México.

En México, el tomate cultivado está considerado como la segunda especie hortícola más importante, debido a la superficie sembrada, y como la hortaliza de mayor importancia por sus niveles de producción (SAGARPA, 2005). Los principales países productores son: Estados Unidos, Canadá, Grecia, Italia, México, Turquía, Egipto, India y España (Jiménez, 2003). La producción anual mundial creció 9.5% en los últimos cuarenta años, siendo la hortaliza más cultivada. A nivel nacional se siembran alrededor de 81 000 ha donde se obtienen cerca de dos millones de toneladas, siendo los principales estados productores: Sinaloa, Baja California, San Luis Potosí, Sonora, Nayarit, Morelos y Michoacán, y a menor escala: Jalisco, Guanajuato, Tamaulipas, Hidalgo y Puebla (Jiménez, 2003).

Dentro de las propiedades nutricionales de esta hortaliza cabe mencionar que es bajo en grasas, calorías y libre de colesterol, es una buena fuente de fibra y proteína, además de ser rico en vitamina A y C,  $\beta$  caroteno, potasio, y licopeno (Ré *et al.*, 2002). El cultivo, la cosecha y la comercialización del tomate generan millones de empleos de manera directa e indirecta, lo que genera una importante contribución a la economía nacional. Es utilizado en la manufactura de productos procesados tales como puré, pasta, polvo, cátsup, salsa, sopas y tomates enlatados; mientras que una pequeña cantidad se consume fresco, mientras que la mayoría se ingiere después del procesamiento (Ré *et al.*, 2002).

### **Biorreguladores**

Las sustancias hormonales en las plantas juegan un papel vital en la regulación de los procesos de crecimiento y desarrollo en los órganos de la planta. Cuando

son secretadas, cada una de ellas tienen funciones bien establecidas, por lo que la presencia o ausencia de alguna determinará los procesos fisiológicos que sucederán en la planta (Checa, 1996).

Los biorreguladores son sustancias que modifican el crecimiento y desarrollo de las plantas mediante el bloqueo o activación de algunas rutas metabólicas y bioquímicas propias de su desarrollo (Weaver, 1996; Jankiewicz, 2003), son sintetizados en muy bajas concentraciones en los cloroplastos y se traslocan a otras regiones de la planta en donde modifican su crecimiento y desarrollo (Yáñez, 2002). Estos ejercen un efecto temporal sobre los genes, incrementando la síntesis de compuestos útiles para los parámetros de calidad de los frutos (Ramírez *et al.* 2010a), de tal forma que con su empleo adecuado pueden ser una gran herramienta en la agricultura contemporánea (Ramírez *et al.* 2005).

Los grupos de hormonas que han tenido últimamente un impacto muy significativo en el manejo de hortalizas son: giberelinas, citocininas y retardantes de crecimiento (Rojas y Ramírez, 1996).

### **Giberelinas**

Estas hormonas estimulan el crecimiento en un rango amplio de concentraciones comparado con las auxinas. Sus efectos característicos son: incrementar el crecimiento en los tallos y el período de latencia de las semillas haciéndolas germinar facilitando el movimiento de los azúcares; inducen la brotación de yemas, promueven el desarrollo de los frutos y estimulan la síntesis de RNA mensajero (Thimann, 1938).

El ácido giberélico ( $GA_3$ ) es el principal biorregulador en la horticultura moderna que representa a este grupo, es utilizado extensamente hoy en día en la producción hortícola. En uva, esta hormona es clave para producir frutos de alta calidad exportable (Retamales, 2007). En sistemas de producción de hortalizas como chile jalapeño, melón y sandía, el  $GA_3$  ha mostrado una alternativa muy positiva para mejorar la producción y calidad de esas especies (Checa, 1996).

### **Citocininas**

Las citocininas incrementan la tasa y la velocidad de acumulación de los ácidos nucleicos en el primordio de la yema lo cual activa el ADN; influye en su división en fragmentos y en el crecimiento de estos así como en la división celular. Esto se traduce en la velocidad, porcentaje de brotación así como el vigor de los brotes lo cual favorece el flujo de las reservas de los tejidos hacia los brotes.

Se han reportado estudios sobre la 6-bencil amino purina (6BAP), hormona característica de este grupo, en manzano y peral para estimular inducción floral y desarrollo de fruto (Ramirez *et al.*, 2014). Su uso en hortalizas es poco conocido y por lo tanto representa una alternativa de evaluación para un potencial método de mejora en la producción de cultivos en ese grupo.

### **Retardantes de Crecimiento**

Los retardantes de crecimiento en las plantas son compuestos que reducen la división y elongación celular de los brotes, regulando de esta forma la altura de las plantas de manera fisiológica, sin provocar malformaciones en las hojas o los tallos (Weaver, 1996; Rademacher, 2000). Cabe señalar que el crecimiento de las plantas tratadas con retardantes no se suprime por completo (Salisbury y Ross, 1994; Srivastava, 2001; Jankiewicz, 2003).

Los retardantes de crecimiento más conocidos son: Ethephon, Chlormequat chloride, Mepiquat chloride, Ancymidol, Flurprimidol, Tetcyclacis, Paclobutrazol, Uniconazole-P, Inabenfide, Daminozide, Trinexapac-ethyl, Prohexadione-Ca y endo-16,17 Dihydro-GA<sub>5</sub>-13-acetate (Rademacher, 2004), sin embargo los que han sido utilizados más en la agricultura son el Ethephon, Daminozide, Chlormequat chloride, Paclobutrazol y Prohexadione-Ca.

Con el uso de retardantes se tiene un mejor equilibrio entre el crecimiento vegetativo y la formación de frutos, favoreciendo el cuajado de los frutos, debido a que inhiben la biosíntesis de giberelinas. Los retardantes se deben aplicar foliarmente cuando se busca un retraso en el crecimiento de otras partes de la planta y de esta forma quedan asimilados para ser utilizados por las flores (Rademacher, 2004).

Sin embargo, ninguno de los retardantes de crecimiento disponibles hasta hace poco resultaba ser el compuesto ideal, observando por ejemplo que el Ethephon además de la reducción de crecimiento, inducía también la caída de frutos y una maduración precoz; Paclobutrazol se ha registrado sólo en algunos países para el control del crecimiento en frutales, los problemas de este compuesto son particularmente relacionados con su persistencia extrema y su estricto movimiento acropetal, los residuos en las frutas y las formas de frutas aplastadas son otros obstáculos para el uso de este compuesto (Rademacher, 2004).

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 toxicológicos al ser humano y por lo tanto tienen restricciones de uso agrícola.

### **Prohexadiona de calcio**

La prohexadiona de calcio (P-Ca) es un bioregulador que aparentemente actúa inhibiendo la biosíntesis de giberelinas virtualmente sin toxicidad y que tiene una persistencia limitada (Fallahi, 1999; Evans *et al.*, 1997). Sin embargo, su mecanismo de acción aún no es definido totalmente desde el punto de vista hormonal endógeno (Costa *et al.*, 2004).

Bas 125W (nombres comerciales Apogee, Regalis, Baseline) es el código experimental para el regulador del crecimiento vegetal prohexadiona de calcio (nombre común propuesto por la organización internacional para la estandarización) o Prohexadiona-Ca en forma abreviada o calcio 3-oxido-4 propionil-5-oxo-3-ciclohexano-carboxilato como su nombre químico sistemático (Rademacher, 2000). Otros códigos para este ingrediente activo incluyen BX-112, KIM112 y BAS9054W. El ingrediente activo, prohexadiona de calcio es patentado por Kumiai Chemical Industry Co. Obteniendo su registro para el control del crecimiento en arroz (*Oriza sativa* L.) en Japón. P-Ca se desarrolló para su registro en los estados unidos para emplearlo en manzano (*Malus \* domestica* Bork.) y cacahuete (*Arachis hypogaea*) por la BASF Corp; y en

países europeos por BASF AG para emplearlo en granos pequeños y manzanos (Evans *et al.*, 1999).

Este biorregulador es un inhibidor de la biosíntesis de giberelinas biológicamente activas con baja toxicidad y limitada persistencia en el tejido vegetal (Evans *et al.*, 1997; Rademacher, 2004). Se ha reportado que P-Ca tiende a aumentar los niveles de citocininas en los tejidos como meristemas apicales y semillas inmaduras (Evans *et al.*, 1999). Este efecto ha sido relacionado con el estímulo en la formación de flores y consecuentemente el rendimiento en diversas especies hortícolas (Evans *et al.*, 1999; Ramírez *et al.*, 2005; Ramírez *et al.*, 2008). 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, 1992). Se absorbe principalmente a través de las hojas y su translocación es principalmente acropétala y en menor grado basipétala con un período de actividad biológica dentro de 10-14 días (Evans, 1997). Los principales efectos de prohexadiona de calcio 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.

#### **Metabolismo de Prohexadiona de calcio.**

Prohexadiona-Ca se degrada en plantas superiores con un tiempo de vida promedio de 2-6 semanas, después de la desactivación y ocurriendo naturalmente el desdoblamiento del anillo en propano-1,2,3 ácido tricarbóxico es formado, que se incorpora a la matriz de la planta. En el suelo P-Ca se descompone mayormente en CO<sub>2</sub> con una vida media menor de los siete días. En el agua P-Ca 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 de Prohexadiona de calcio.**

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). La estructura de prohexadiona

de calcio es similar al ácido 2-oxoglutarico que es el co-sustrato para diogenasas, catalizando hidroxilaciones envueltas en estadios tardíos (Rademacher, 2000). El blanco primario de prohexadiona-ca al parecer es  $3\beta$  hidroxilación, en consecuencia, sus aplicaciones reducen los niveles de  $GA_1$  (altamente activa) y causa acumulación de su inmediato precursor  $GA_{20}$  inactiva (Nakayama *et al.*, 1990; Rademacher, 2000). En relación a las diogenasas envueltas en el metabolismo de los flavonoides, pueden ser afectadas en algunos puntos por prohexadiona-ca y compuestos relacionados (Evans *et al.*, 1999).

### **Efectos principales de Prohexadiona de calcio**

Existen cultivos en los cuales ya se ha probado con éxito el efecto que causa la prohexadiona de calcio sobre la planta, por ejemplo Kiessling *et al.*, (2007) al evaluar tres tratamientos: su control (agua) y dos tratamientos de P-Ca (Apogee 27.5%), con dosis de 149.9 g y 206.3 g de ingrediente activo, ambas diluidas en 1000 L de agua, observaron que la aplicación del Apogee redujo significativamente el crecimiento de ramas anuales de manzano, de 20 a un 48 % respectivamente en relación al control. Por otro lado, la aplicación del tratamiento inhibitor del crecimiento, no produjo efecto de toxicidad al observarse hojas y frutos normales. Ramírez *et al.*, (2005) evaluando dos concentraciones de P-Ca ( $175$  y  $250$  mg L<sup>-1</sup>) y un testigo en híbridos experimentales de tomate 'Saladette' con hábito de crecimiento determinado e indeterminado encontraron como resultados que el número de entrenudos, número de hojas, diámetro de tallo, número de racimos y frutos, peso del fruto, sólidos solubles, firmeza del fruto y producción por planta se incrementaron por efecto del tratamiento con prohexadiona de calcio. Las concentraciones de P-Ca utilizadas, redujeron los niveles de giberelinas y aumentaron los de citocininas en meristemos apicales. En ápices testigo se encontraron las giberelinas  $A_1$ ,  $A_4$ ,  $A_7$  y zeatina.

De la misma forma Ramírez *et al.*, (2010 b) al estudiar el efecto de P-Ca,  $AG_3$ , ANOXA y BA en la fisiología y bioquímica del chile mirador observaron que la aplicación individual de P-Ca redujo la altura final de la planta. La combinación

de P-Ca con AG<sub>3</sub>, ANOXA y BA incrementó el número total de flores, porcentaje de cuajado del fruto, número de semillas por fruto, rendimiento, contenido de vitamina C y capsaicina en frutos. En ese mismo año Ramírez *et al.*, (2010a) al evaluar los cambios que provoca la P-Ca en la capacidad antioxidante total, contenido de licopeno y actividad de las enzimas catalasa y peroxidasa en frutos de tomate bola variedad Floradade en diferentes concentraciones (0,125, 175 y 200 mg L<sup>-1</sup>) observaron que P-Ca incrementó ( $P \leq 0.01$ ) la capacidad antioxidante total de los frutos, principalmente en los frutos en estado de hombros verdes. La concentración de licopeno aumentó en los frutos de plantas tratadas con cualquiera de las dosis de P-Ca, con una mayor concentración en frutos en hombros verdes. Asimismo, con la aplicación de P-Ca la actividad de la catalasa y peroxidasa aumentó significativamente, con lo que resultó un tomate de mejor calidad para el consumo humano.

### **Antioxidantes**

Los antioxidante son sustancias naturales o artificiales con capacidad para neutralizar y proteger a sistemas biológicos; su mecanismo de acción consiste en su capacidad de atrapar los radicales libres que inducen reacciones de iniciación de oxidación; inactivan iones metálicos; eliminan las especies reactivas de oxígeno como radicales libres; rompen la cadena de reacciones de iniciación y reducen los peróxidos para prevenir la formación de radicales libres (Rosa *et al.*, 2002).

Los productos vegetales, son una alternativa para usar como antioxidantes, porque poseen una variedad de compuestos como: antocianos, flavonoides, carotenoides, ácido ascórbico entre otros que pueden ser inocuos para la salud y que además, actúan a bajas concentraciones. Muchos antioxidantes son usados en la industria de alimentos por su capacidad conservadora; porque retardan el proceso de rancidez, disminuyen la posibilidad de generación de compuestos tóxicos, evitan la decoloración de los pigmentos, no permiten los cambios en la textura, disminuyen la pérdida de valor nutricional causada por la degradación de los ácidos grasos esenciales y por la destrucción de las vitaminas A, E y D (Parr y Bolwell, 2008; Rojano *et al.*, 2008)

Uno de los principales carotenoides que se encuentra en los alimentos que forman parte de la dieta habitual en la cultura alimentaria mundial es el licopeno, el cual es accesible desde el punto de vista económico y conserva sus propiedades antioxidantes después de ser procesado hasta doce meses en condiciones atmosféricas normales (Koh *et al.*, 2012). Se encuentra en la naturaleza como pigmento natural liposoluble responsable del color rojo y naranja de algunas frutas y verduras. Se sintetiza exclusivamente por las plantas y los microorganismos y una de sus funciones principales es absorber la luz durante la fotosíntesis para proteger a la planta contra la fotosensibilización. (Vitale *et al.*, 2010). El licopeno es el carotenoide más abundante en el tomate, pues comprende aproximadamente de 80 a 90% de los pigmentos presentes. La cantidad de licopeno en tomates frescos puede variar dependiendo de la especie, la madurez y las condiciones ambientales en las que la fruta madura (Shi, 2000). Normalmente, los tomates contienen cerca de tres a cinco miligramos de licopeno por 100 g de material crudo (Hart y Scott, 1995). Este corotenoide es considerado como un magnifico antioxidante porque reduce considerablemente el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares y juega un papel importante en la reducción del cáncer de colón, recto y mama (Di mascto *et al.*, 1989).

Otro de los potentes antioxidantes contenido en los frutos de tomate es la vitamina C, que también actúa como un reductor de radicales libres, propiedad que contribuye a minimizar el daño oxidativo (Padayatt *et al.*, 2001). La vitamina C también tiene un efecto protector contra enfermedades como el cáncer, diabetes, daños cardiovasculares, artritis, cataratas y desordenes en el sistema nervioso central (Rodríguez *et al.*, 2001; Devasagayam *et al.*, 2004).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitio Experimental y Diseño

El presente trabajo se llevó a cabo durante el periodo Abril-Agosto del 2015 en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Saltillo, Coahuila, México, en un invernadero con una estructura superior metálica cubierta con plástico blanco (calibre 720) en el techo y laterales y placas de policarbonato. Se utilizaron plántulas de tomate saladette híbrido "Raptor-F1" de crecimiento indeterminado de dos meses de emergidas, estas fueron trasplantadas el 15 de abril del 2015 en bolsas negras de 12 litros utilizando como sustrato tierra de monte, tezontle y perlita (2:1:2 v/v). Las bolsas se distribuyeron a una distancia de 50 cm entre planta y planta y 75 cm entre las filas. Las condiciones climáticas dentro del invernadero se mantuvieron a 27 °C y 65 % de humedad relativa. Los tratamientos fueron los siguientes: control (H<sub>2</sub>O), 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>) y GA<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, 15 días después se realizó la segunda aplicación de los mismos tratamientos. Se utilizó un diseño estadístico completamente al azar con 10 repeticiones por tratamiento. Las variables evaluadas fueron: giberelinas endógenas en los ápices tratados con P-Ca, tasa de crecimiento en altura y diámetro del tallo principal, número de hojas, flores y frutos, tamaño del fruto y rendimiento por planta, también se determinó en frutos maduros cosechados el contenido de azúcares, vitamina C, licopeno, firmeza, color y vida en anaquel. Los resultados obtenidos fueron analizados con el programa estadístico R versión 2.14.2 para Windows ocho. El análisis de varianza y comparación de medias se realizó aplicando una prueba de diferencia mínima significativa (DMS) ( $P \leq 0.05$ ).

### **Parámetros Fenológicos**

**Tasa de crecimiento en altura.** Se midió la altura de la planta partiendo desde la base del tallo hasta el meristemo apical con ayuda de un flexómetro marca Pretul con escala de 0-5 m. Las mediciones se hicieron los días cero, tres, cinco, diez y quince partiendo de la primera aplicación de los tratamientos y después sucesivamente cada 15 días hasta el término del ciclo de cultivo.

**Tasa de crecimiento del diámetro del tallo.** Se determinó el diámetro del tallo mediante el uso de un vernier marca Pretul de escala de 0-13 cm, al igual que la altura las mediciones se realizaron los días cero, tres, cinco, diez y quince a partir de la primera aplicación de tratamientos y después cada 15 días hasta el término del cultivo.

**Número de hojas y flores.** Se contó el número total de hojas y flores por planta con ayuda de un contador marca ENM. Estas mediciones se llevaron a cabo los mismos días que la tasa de crecimiento y diámetro del tallo.

### **Parámetros de Producción**

**Numero de frutos y rendimiento.** El número de frutos por planta fue evaluado durante cada uno de los 10 primeros cortes realizados entre tratamientos usando un contador de mano marca ENM, mientras que el rendimiento total por planta fue resultado de la suma del peso de estos frutos utilizando una báscula marca Scout® Pro con una capacidad de 1000g.

### **Parámetros de Calidad**

**Tamaño.** Se evaluó el diámetro polar y ecuatorial tomando cinco frutos obtenidos al azar de las 10 repeticiones de cada tratamiento con el uso de un vernier marca Pretul con escala de 0-13 cm durante los seis primeros cortes.

**Firmeza.** La firmeza de los frutos se registró utilizando un penetrómetro marca Tester, modelo FT327 con una puntilla de 8 mm, para ello se tomaron cinco frutos por tratamiento durante los seis primeros cortes.

**Sólidos solubles totales (°Brix).** Se determinó el porcentaje de °Brix en cinco frutos por tratamiento durante seis cortes usando un refractómetro marca ATAGO modelo N-8α.

**Vida de anaquel.** Se obtuvo al contabilizar el número de días que mantenían su consistencia para comercialización cinco frutos de cada tratamiento durante los seis primeros cortes a temperatura ambiente (18°C).

**Color.** Se determinó en cinco frutos por tratamiento en cada corte usando equipo colorimétrico marca Minolta modelo CR 300 con el cual se obtuvieron lecturas tridimensionales de L\*, a\*, y b\*. L es la luminosidad y tiene una escala de valores de 0 a 100, donde cero es la obscuridad total u opacidad y 100 corresponde al blanco o máxima brillantes; a y b son coordenadas que ubican el color de un objeto en un diagrama de cromaticidad donde a (+) indica el color rojo, a (-) indica el color verde, b (+) indica el color amarillo y b (-) indica el color azul. Los tomates fueron lavados con agua destilada y secados, posteriormente se calibro el equipo y se tomaron dos lecturas en la zona ecuatorial del fruto. Al tomar la lectura el equipo emite una luz de xenón pulsante y las longitudes de onda emitidas por la muestra, son transcritas por el colorímetro a valores del espacio de color seleccionado, como L\* a\* b\*. El valor de cada parámetro para cada muestra se obtuvo al promediar los resultados de las dos lecturas tomadas por muestra.

### **Antioxidantes**

**Vitamina C.** Se determinó el contenido de vitamina C 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 fórmula:

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

**Licopeno.** Para determinar el contenido de licopeno se pesaron 3 g de pericarpio del fruto de tomate, posteriormente 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 2ml 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 3,000rpm durante 10 minutos para la separación de fases, se extrajo la fase coloreada y se cuantificó a una longitud de onda de 450nm en un equipo de HPLC marca Varian, modelo 500-MS. Para medir 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 Giberelinas Endógenas en los Ápices.**

Con el fin de aprender acerca de la inhibición de la síntesis de giberelinas por prohexadiona-Ca, se recogieron muestras de ápices de plantas control y tratadas con P-Ca cuatro días después de la primera aplicación del retardante de crecimiento. Las muestras de los ápices cortados se congelaron, liofilizaron y pulverizaron tal como lo describe Ramírez *et al.*, (2014).

**Identificación de giberelinas por CG-EM.** Las muestras con mayor actividad giberélica detectadas en la cromatografía de capa fina (CCF) fueron acondicionadas para identificar el tipo de giberelina con la técnica de cromatografía de gases y espectrometría de masas (Ramírez *et al.*, 2010b). Se utilizó 1 g de peso seco por muestra referida la cual fue disuelta en 0.1 ml de acetona – metanol (98%) en la proporción 50:50 (v:v) y metilado con diazometano. Para la inyección al CG se prepararon previamente los derivados sililados. Una proporción del extracto metilado fue disuelto en 0.1 ml de piridina y tratado con 0.1 ml de trimetil clorosilano y hexametildisilazano. Las alícuotas fueron examinadas con un separador de membrana de silicón Pye 104 CLC acoplado a un espectrómetro de masas AEI MS30. En este equipo se instalaron columnas de vidrio salinizadas (213 x 0.2 cm) con 2% de Se-33, en 88-100 de gas chorm Q. La velocidad de flujo fue de 25 ml•min<sup>-1</sup> y la temperatura de la columna fue programada entre 180 a 280 °C a 2 °C•min<sup>-1</sup>. La espectrometría de masas fue determinada a 24 eV en una fuente de temperatura de 190 °C y una velocidad de búsqueda de 6.5 s por década de masas. El espectro fue

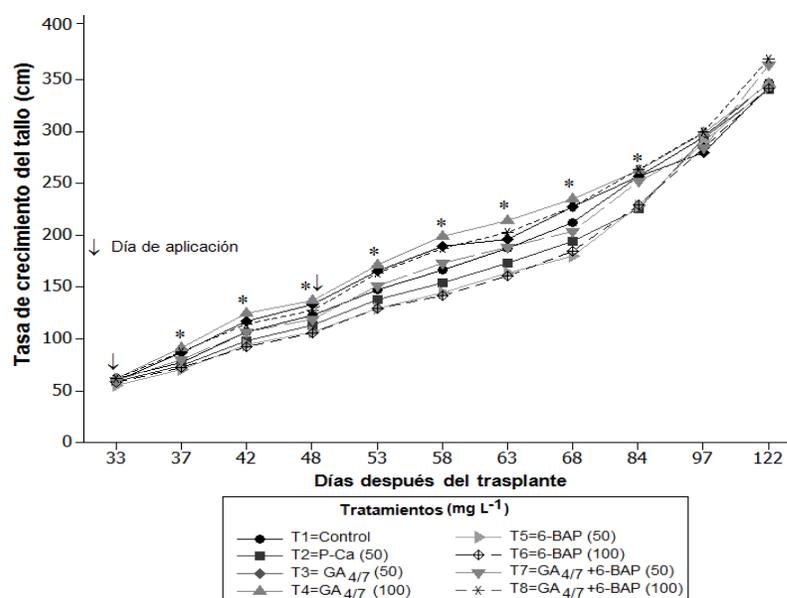
registrado por una computadora Dec. Lin. 8. La identificación de giberelinas fue conducida por la comparación del índice de retención kovats (IRK) y el patrón de fragmentación de su espectrometría de masas de sus metil ester trimetilsilil éter con sus derivados de las muestras originales.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Crecimiento Vegetativo y Giberelinas

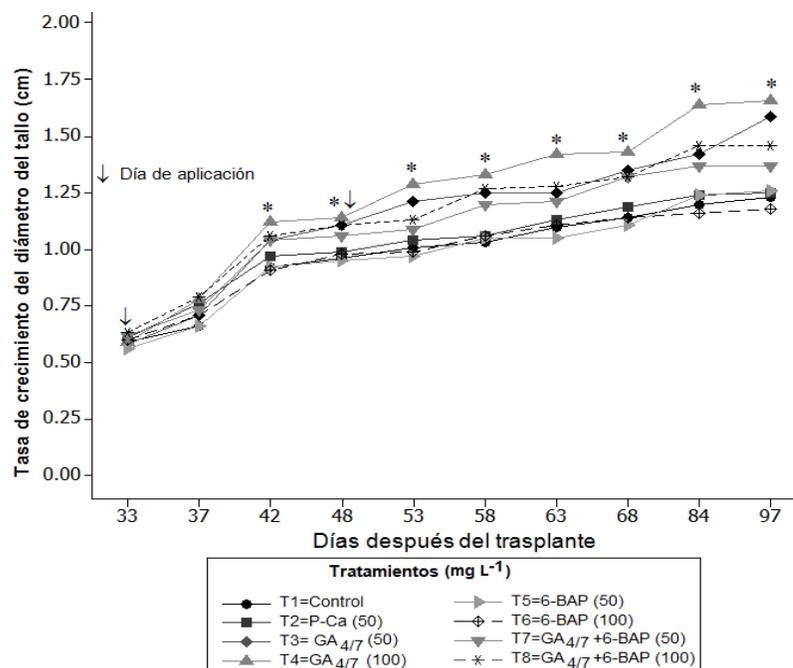
La aplicación de los biorreguladores modificó la tasa de crecimiento en altura (Fig. 1) y el diámetro del tallo principal (Fig. 2). El retardante de crecimiento P-Ca redujo significativamente ( $P \leq 0.05$ ) la tasa de crecimiento longitudinal, mientras que  $GA_{4/7}$  (50 y 100  $mg L^{-1}$ ) produjo el mayor crecimiento del tallo (Fig. 1). Este efecto se observó entre los cuatro a 97 días después de la primera aplicación de las hormonas. Poco después el crecimiento fue restaurado en las plantas tratadas con P-Ca (Fig. 1). El diámetro del tallo principal se incrementó significativamente ( $P \leq 0.05$ ) en la mayoría de los tratamientos de biorreguladores (Fig. 2). Este patrón se observó desde el noveno día después de la primera aplicación de los biorreguladores hasta el final del ciclo vegetativo. El número de hojas aumento en las plantas asperjadas con P-Ca y con la combinación de  $GA_{4/7}$  + 6-BAP a 50 y 100  $mg L^{-1}$  (Cuadro 2).

Fig. 1. Tasa de crecimiento del tallo principal de plantas de tomate saladette hibrido "Raptor-F1" después de haber sido tratadas con biorreguladores.



Cada punto representa la media de diez repeticiones. \* indica diferencia estadística significativa ( $P \leq 0.05$ ).

Fig. 2. Tasa de crecimiento del diámetro del tallo de plantas de tomate saladette hibrido "Raptor-F1" después de haber sido tratadas con biorreguladores.



Cada punto representa la media de diez repeticiones. \* indica diferencia estadística significativa ( $P \leq 0.05$ ).

El efecto observado con P-Ca en la reducción de la altura de las plantas de tomate es consistentemente relacionado con la inhibición de la biosíntesis en el ápice de giberelinas  $A_1$ ,  $A_4$  y  $A_7$  por este retardante de crecimiento (Costa *et al.*, 2004; Rademacher, 2004). Se ha reportado que la biosíntesis de estas giberelinas biológicamente activas se inhibe a las pocas horas después de que P-Ca es tomada por los brotes apicales; mientras que la reducción del crecimiento del tallo aparece pocos días después (Costa *et al.*, 2004). El cuadro uno muestra que P-Ca inhibió la producción de giberelinas  $A_1$ ,  $A_4$  y  $A_7$  en el ápice cuatro días después de haber sido asperjada. En su lugar, las giberelinas  $A_9$ ,  $A_{20}$  y  $A_{53}$  fueron detectadas. Estas giberelinas son biológicamente inactivas y por lo tanto la reducción del crecimiento (Fig. 1) es atribuible a estas condiciones. El incremento visto en el crecimiento del tallo por la aplicación exógena de  $GA_{4/7}$  (50 y 100 mg L<sup>-1</sup>) es probablemente conectado a la estimulación de la elongación celular en el tejido, como ha sido previamente

reportado (Ramírez *et al.*, 2005). El incremento en el diámetro del tallo de la mayoría de las plantas con biorreguladores (Fig. 2) podría ser explicado como el resultado de un incremento en la división celular y elongación celular provocada por citocininas y giberelinas seguido por un incremento del flujo de asimilados en movimiento hacia el tejido de crecimiento, originando cambios anatómicos como resultado de un incremento en la síntesis de almidón en células de la médula y el córtex (Tsegaw *et al.*, 2005; Ramírez *et al.*, 2003). Estos efectos también han sido reportados en tomate saladette por Ramírez *et al.*, (2005) y en chile jalapeño (Ramírez *et al.*, 2015). El mayor número de hojas formadas en las plantas tratadas con P-Ca y GA<sub>4/7</sub> + 6-BAP (Cuadro 2) puede reflejar la estimulación de la diferenciación de tejido de la hoja causada por citocininas y giberelinas (Salisbury y Ross, 1996); hormonas que en este estudio fueron asperjadas (Fig.1). Se sabe que P-Ca promueve la síntesis de las citocininas endógenas en semillas inmaduras y ápice en varias especies (Ramírez *et al.*, 2005). Esto puede explicar la promoción en la formación de la hoja observada en las plantas tratadas con este retardante de crecimiento. La presencia de las giberelinas A<sub>9</sub>, A<sub>20</sub> y A<sub>53</sub> en el ápice de plantas tratadas con P-Ca (Cuadro 1) no alteró la formación de las hojas ya que estas sustancias son biológicamente inactivas como ha sido demostrado en otros cultivos tales como arroz (Nakayama *et al.*, 1990) y manzano (Evans *et al.*, 1999; Weaver, 1996).

Cuadro 1. Efecto de P-Ca en giberelinas endógenas en los ápices de tomate saladette híbrido "Raptor-F1" identificados por CG-EM.

Hormonas	IRK <sup>a</sup>	Patrón de fragmentación e intensidad relativa (%)
<b>Giberelinas</b>	<b>Control</b>	
GA <sub>1</sub>	2651	[506(M <sup>+</sup> ,100), 448(14), 377(15), 375(18)]
GA <sub>4</sub>	2488	[418(M <sup>+</sup> ,21), 403(2), 400(12), 386(25), 284(100)]
GA <sub>7</sub>	2416	[416(M <sup>+</sup> ,10), 193(12), 179(5), 155(13)]
	P- Ca 50 mg L <sup>-1</sup>	
GA <sub>9</sub>	2295	[330(M <sup>+</sup> ,5), 217(37), 183(19), 159(45)]
GA <sub>20</sub>	2468	[418(M <sup>+</sup> ,100), 403(17), 387(6), 375(82), 359(19)]
GA <sub>53</sub>	2507	[448(M <sup>+</sup> ,7), 403(3), 386(15),371(3), 358(1)]

<sup>a</sup> Índice de retención kovats; M<sup>+</sup> = Ión molécula.

### Numero de Flores y Frutos

Se puede observar en el cuadro dos que el número de flores y frutos fue mayor ( $P \leq 0.05$ ) en las plantas tratadas con P-Ca a 50 mg L<sup>-1</sup>. Se observó un incremento de un 10% en ambos parámetros en comparación con las plantas testigo. El tratamiento con GA<sub>4/7</sub> a 100 mg L<sup>-1</sup> dio como resultado el menor número de frutos por planta, siendo un 21% menor que el correspondiente a las plantas control. P-Ca es un retardador del crecimiento que promueve la inducción de la floración en chile jalapeño y tomate (Ramírez *et al.*, 2005); y en manzana, pera, durazno y cereza (Costa *et al.*, 2004). Estos informes apoyan los incrementos en el número de flores encontradas en este estudio (Cuadro 2). El efecto por P-Ca parece estar mediado por el incremento de las citocininas en la yema meristemática en el momento de la inducción del brote floral, teniendo lugar como ha sido mostrado en manzano al momento de la iniciación de la yema floral (Costa *et al.*, 2004). El mayor número de frutos por planta observados en las plantas tratadas con P-Ca refleja un aumento en la producción de frutos. Esto se observó también cuando el retardante de crecimiento fue asperjado en tomate (Ramírez *et al.*, 2005) y chile pimiento (Ramírez *et al.*, 2008). El mecanismo a través del cual P-Ca trabaja no está totalmente definido, sin embargo, es bien sabido que cuando se bloquea la

síntesis de giberelinas A<sub>1</sub>, A<sub>4</sub> y A<sub>7</sub> en el ápice (Cuadro 1), esta condición modifica la translocación de asimilados hacia los tejidos de frutos jóvenes recién formados, causando una mayor retención de la fruta (Rademacher, 2000). El mismo efecto fue reportado en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) (Ramírez *et al.*, 2010c) y en la manzana (Ramírez *et al.*, 2006). Estas experiencias también pueden explicar la reducción en la producción de frutos vista en las plantas tratadas con GA<sub>4/7</sub> a 100 mg L<sup>-1</sup>, donde la competencia vegetativa causada por estas hormonas redujo el flujo de asimilados hacia los frutos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Efecto de biorreguladores sobre el número de hojas, flores, frutos y rendimiento en plantas de tomate saladette híbrido "Raptor-F1".

Tratamientos (mg L <sup>-1</sup> )	Hojas	Flores (Número por planta)	Frutos	Rendimiento (Kg/planta)
Control	45 ab <sup>z</sup>	30 ab	19 ab	1.75 a
P-Ca (50)	48 a	33 a	21 a	1.67 a
GA <sub>4/7</sub> (50)	43 b	25 b	17 b	1.17 bc
GA <sub>4/7</sub> (100)	45 ab	26 b	15 b	0.89 c
6-BAP (50)	45 ab	29 ab	18 ab	1.57 a
6-BAP (100)	46 ab	29 ab	17 b	1.44 ab
GA <sub>4/7</sub> +6-BAP (50)	47 a	30 ab	17 b	1.15 bc
GA <sub>4/7</sub> +6-BAP (100)	48 a	31 ab	16 b	1.10 c
CV (%)	8.91*	22.72*	23.46*	26.7*

<sup>z</sup>=valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba DMS; \*=Diferencia significativa a un  $P \leq 0.05$ ; CV= coeficiente de variación; Kg= kilogramos. Cada valor representa el promedio de diez plantas.

### Calidad del fruto

El diámetro ecuatorial y polar de los frutos de las plantas tratadas con P-Ca fueron significativamente más grandes que el resto de los biorreguladores; mientras que las giberelinas<sub>4/7</sub> a 50 mg L<sup>-1</sup> produjeron frutos más pequeños (Cuadro 3). El aumento de tamaño de la fruta por P-Ca no se ve con frecuencia en cultivos hortícolas tales como tomatillo (Ramírez *et al.*, 2010c) y la manzana (Ramírez *et al.*, 2003). En el presente estudio se aplicó una concentración de 50 mg L<sup>-1</sup> de este biorregulador que es la mitad de la utilizada en estos cultivos. Es posible que P-Ca a una concentración menor pudiera promover suficientes

cantidades de citocininas y auxinas en el ápice o en otros órganos de la planta y posteriormente transferirlos a los tejidos en desarrollo tales como frutos (Ramírez, 2003) donde las citocininas promueven la división celular y las auxinas evitan la abscisión del fruto (Salisbury y Ross, 1996). Los frutos pequeños observados en las plantas tratadas con giberelinas podrían ser el resultado de la competencia del crecimiento vegetativo provocado por las mismas hormonas como se ha informado en árboles frutales (Weaver, 1996).

La firmeza y °Brix fueron significativamente diferentes en los frutos del tratamiento con GA<sub>4/7</sub> a 100 mg L<sup>-1</sup> (Cuadro 3). Ambos parámetros mostraron incrementos en comparación con el resto de los biorreguladores. Efectos similares se encontraron en cerezo (Podestá *et al.*, 2001). Ramírez *et al.*, (2005) también reportaron patrones similares en dos híbridos de tomate saladette con hábito de crecimiento determinado e indeterminado. Se ha propuesto que la presencia de giberelinas durante la maduración del fruto participa al mantener la rigidez en la piel y las membranas externas; estas también pueden estar involucradas en el evento relacionado con la síntesis de azúcar en la fruta (Ramírez *et al.*, 2010b; Ramírez *et al.*, 2014). Sin embargo es preciso realizar más estudios sobre este tema.

El color y vida de anaquel de los frutos experimentales no fueron afectados por ningún biorregulador (Cuadro 3), aunque hubo una tendencia de aumento en la vida de anaquel en frutos tratados con P-Ca y giberelinas, estas hormonas nunca mostraron una diferencia estadística.

Cuadro 3. Efecto de biorreguladores en la calidad del fruto de tomate saladette hibrido "Raptor-F1".

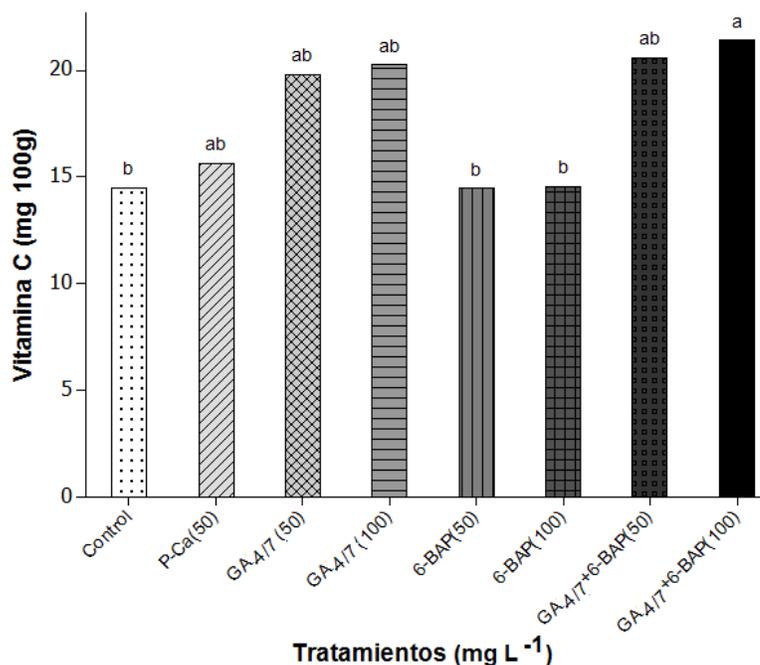
Tratamientos (mg L <sup>-1</sup> )	Diámetro polar (mm)	Diámetro ecuatorial (mm)	Firmeza (Kg/cm <sup>2</sup> )	°Brix (%)	Color luminosidad (L)	Vida de anaquel (días)
Control	64.12 ab <sup>z</sup>	50.95 abc	4.16 abc	3.8 abc	43.38 a	31 a
P-Ca (50)	66.84 a	53.06 a	4.14 abc	3.8 bc	44.85 a	37 a
GA <sub>4/7</sub> (50)	58.54 c	46.59 d	4.48 ab	4.1 ab	44.64 a	36 a
GA <sub>4/7</sub> (100)	59.73 bc	46.81 cd	4.63 a	4.3 a	43.33 a	31 a
6-BAP (50)	64.07 ab	51.42 ab	3.55 c	3.7 bc	45.04 a	29 a
6-BAP (100)	63.42 ab	50.52 abcd	3.46 c	3.6 c	43.59 a	31 a
GA <sub>4/7</sub> +6-BAP (50)	62.15 abc	49.95 abcd	4.06 abc	3.8 abc	45.45 a	31 a
GA <sub>4/7</sub> +6-BAP (100)	60.23 bc	47.99 bcd	3.7 bc	3.9 abc	45.74 a	32 a
CV (%)	6.5*	7.35*	16.68*	11.67 *	4.96 NS	27.46 NS

<sup>z</sup> =valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba DMS; \* =Diferencia significativa a un a  $P \leq 0.05$ ; NS=Diferencia no significativa; CV=coeficiente de variación; mm=milímetros. Cada valor representa el promedio de diez plantas.

### Antioxidantes

El contenido de vitamina C en los frutos de tomate se muestra en la figura tres. Fue evidente que la combinación de GA<sub>4/7</sub> + 6-BAP a 100 mg L<sup>-1</sup> produjo el mayor contenido de este antioxidante ( $P \leq 0.05$ ). Este valor fue del 47% por encima de las muestras de control. La aplicación de P-Ca y la de giberelinas de manera individual también mostraron una tendencia a aumentar el contenido de este antioxidante. Estos resultados son soportados por los reportados en chile mirador (Ramírez *et al.*, 2010b) y chile jalapeño (Ramírez *et al.*, 2009). La vitamina C es un compuesto que se ha demostrado desempeña un papel importante en la desintoxicación de oxígeno activado y reacciona directamente con moléculas reactivas al oxígeno (Ramírez *et al.*, 2014). Este antioxidante contribuye a una buena salud en los seres humanos, fortaleciendo el sistema de protección contra enfermedades tales como la diabetes, cáncer y presión arterial (Ramírez *et al.*, 2010c; Ramírez *et al.*, 2009). Por lo tanto, los incrementos en vitamina C por biorreguladores en frutos de cultivos de hortalizas se considera una contribución importante en la horticultura contemporánea (Ramírez *et al.*, 2015).

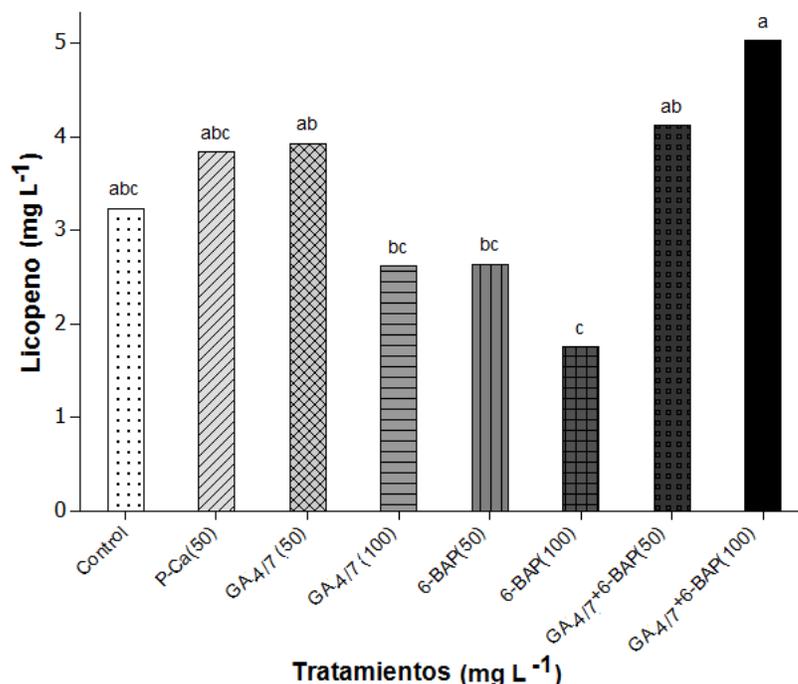
Fig. 3. Influencia de biorreguladores en el contenido de vitamina C en frutos de tomate saladette hibrido "Raptor-F1".



Cada barra representa el promedio de diez repeticiones. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales ( $P \leq 0.05$ ).

El contenido de licopeno en los frutos mostró un patrón similar en las plantas donde se aplicó el tratamiento de GA<sub>4/7</sub> + 6-BAP a 100 mg L<sup>-1</sup> resultando un incremento significativo ( $P \leq 0.05$ ) en este antioxidante (Fig. 4). El contenido de este valioso antioxidante fue de 55% más alto que los frutos control. P-Ca, giberelinas individuales o en combinación con 6-BAP mostraron una tendencia de aumentar el contenido de licopeno también. Los resultados en este estudio son similares con los reportados previamente por Ramírez *et al.*, (2010d). El licopeno es hoy en día un importante antioxidante demandado el cual hace una importante contribución al fortalecer la salud humana (Ramírez *et al.*, 2015). Cualquier técnica alternativa tal como el uso de biorreguladores para aumentar el contenido de licopeno en los frutos de tomate será de gran valor y por lo tanto más investigación es necesaria.

Fig. 4. Influencia de biorreguladores en el contenido de licopeno en frutos de tomate saladette hibrido "Raptor-F1".



Cada barra representa el promedio de diez repeticiones. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales ( $P \leq 0.05$ ).

### Rendimiento e Impacto Económico

La tabla dos ilustra que el rendimiento en las plantas asperjadas con P-Ca y 6-BAP a  $50 \text{ mg L}^{-1}$  fue similar al del control. Estos valores fueron más altos que el resto de los tratamientos con biorreguladores. El rendimiento más bajo por planta resultó cuando fue aplicada GA<sub>4/7</sub> a  $100 \text{ mg L}^{-1}$  sola o en combinación con 6-BAP a  $100 \text{ mg L}^{-1}$ . La aplicación de P-Ca y 6-BAP en un rango de 100 a  $300 \text{ mg L}^{-1}$  han demostrado que aumentan el rendimiento en especies de frutales templados tales como manzanas y peras (Costa *et al.*, 2004); sin embargo, ocurrió lo contrario cuando esas dosificaciones se aplicaron en chile jalapeño (Ramírez *et al.*, 2015). En la presente investigación, la concentración de ambos compuestos fue en la mayoría de los casos más baja, condición que puede explicar estos resultados. La drástica reducción en el rendimiento causado por giberelinas puede estar relacionada con una competencia con el

crecimiento vegetativo observada en la altura del tallo y número de hojas (Fig. 1, Cuadro 2), como se ha reportado en manzano (Costa *et al.*, 2004).

El cuadro cuatro muestra que el costo de producción es ligeramente más alto en cualquier tratamiento con biorreguladores en comparación con el control; sin embargo, esta diferencia se compensa por el precio de mercado, que dobla el precio del control como resultado de un mayor contenido de antioxidantes en los frutos tratados con biorreguladores (Figs. 3 y 4). Esta diferencia se refleja en la relación beneficio: costo, con valores de 1.9, 1.9, 1.84 y 1.74 por P-Ca, GA<sub>4/7</sub>, 6-BAP y GA<sub>4/7</sub>, + 6-BAP respectivamente, contra 0.86 en los frutos control. La mejora en la calidad de la fruta podría compensar el efecto sobre el rendimiento (Cuadro 2), ya que los frutos de biorreguladores pueden alcanzar mayor precio en el mercado. Esta afirmación hoy en día es soportada por la creciente demanda de productos vegetales con un alto contenido de antioxidantes (Ramírez *et al.*, 2014).

Cuadro 4. Impacto económico de tomate saladette híbrido "Raptor-F1" tratado con biorreguladores.

Concepto	Control	P-Ca <sup>Z</sup>	GA <sub>4/7</sub>	6-BAP	GA <sub>4/7</sub> +6-BAP
	> 30 % Licopeno + Vitamina C				
Costo de producción*/kg.\$ USD	0.93				1.48
Costo/kg. \$ USD	0.50	0.51	0.51	0.52	0.54
Relación Beneficio: Costo	0.86	1.9	1.9	1.84	1.74

\*SAGARPA, México; <sup>Z</sup>= Media de los tratamientos biorreguladores

## CONCLUSIONES

Prohexadiona de calcio inhibe la síntesis de giberelinas  $A_1$ ,  $A_4$  y  $A_7$  en el ápice; reduce la altura de la planta; aumenta el diámetro del tallo, número de hojas, flores y frutos.  $GA_{4/7}$  y 6-BAP incrementan la firmeza, el contenido de azúcar, vitamina C y licopeno en frutos maduros de tomate saladette híbrido "Raptor-F1" cultivados en invernadero.

## REFERENCIAS

- Bombelli EC y Wright ER. 2006. Tomato fruit quality conservation during post-harvest by application of potassium bicarbonate and its effect on *Botrytis cinerea*. *Ciencia e investigación Agraria* 33(3):167-172.
- Checa J. 1996. Las hormonas vegetales. *Agrícola-Vergel* 12: 1-14.
- Costa G, Sabatini E, Spinelli F, Andreotti C, Bomben C, Vizzotto G. 2004. 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.
- Davis AR, Fish WW, Perkins -Veazie P. 2003. A rapid hexane-free for analysing lycopene content in watermelon. *Journal of Food Science* 68(1):328-332.
- Devasagayam TPA, Tilak JC, Boldoor KK, Sane K S, Ghaskadbi SS, Lele RD. 2004. Free Radicals and Antioxidants in Human Health: Current Status and Future Prospects. *Journal of the Association of Physicians of India* 52: 794-804.
- Di mascto P, Kaiser S, Sies H. 1989. Lycopene as the most efficient biological carotenoid single oxygen quencher. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 274: 532-538.
- Evans JR, Ishida CA, Regusci CL, Rademacher W. 1997. Mode of action, metabolism and uptake of BAS-125W Prohexadione-calcium. *HortScience* 324:557-558.
- Evans L, Evans RR, Regusci CL, Rademacher W. 1999. Mode of action, metabolism and uptake of BAS-125W Prohexadione-calcium. *HortScience* 34:1200-1201.
- Fallahi E. 1999. Metabolism, action and use of BAS-125W in apples. *HortScience* 34:1192-1193.
- Hart DJ, Scott KJ. 1995 Development and evaluation of an HPLC method for the analysis of carotenoids in foods, and the measurement of the carotenoid content of vegetables and fruits commonly consumed in the UK. *Food Chem.* 54:101-111.
- Jankiewicz L. 2003. Reguladores del crecimiento, desarrollo y resistencia en plantas. Tomo I. Propiedades y acción. Ediciones Mundi Prensa. México.
- Jiménez D. 2003. Enfermedades del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). México, D.F. 102 p.

- Kiessling DC, Magaña MJ, Segovia LA, Obando RA, Villarreal RV. 2007. Prohexadiona de calcio como regulador de crecimiento en manzano (*Malus domestica* Borkh.) "Golden Delicious", Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua, México. *Tecnociencia Chihuahua* 1(3):7-12.
- Koh E, Charoenprasert S, Mitchell A. 2012. Effects of industrial tomato paste processing on ascorbic acid, flavonoids and carotenoids and their stability over one-year storage. *J Sci Food Agric.* 92: 23-28.
- Latimer JG. 1992. Drought, paclobutrazol, abscisic acid, and gibberellic acid as alternatives to daminozide in tomato transplant production. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 117(2): 243-247.
- Nakayama I, Miyazawa T, Kobayashi M, Kamiya Y, Abe H. Sakurai A. 1990. Effects of a new plant growth regulator prohexadione calcium (BX-112) on shoot elongation caused by exogenously applied gibberellins in rice (*Oriza sativa* L) seedlings. *Plant and Cell Physiology* 31(2):195-200.
- Nakayama I, Kobayashi M, Kamiya Y, Abe H. 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 LG. 1988. Plant growth regulator use in cane and sugar production. Update. *Sugar Journal* 50:7-11.
- Owens CL. y Stover E. 1999. Vegetative growth and flowering of young apple trees in response to prohexadione–calcium. *HortScience* 34(7):1194-1196.
- Padayatt SJ, Daruwala R, Wang Y, Eck PK, Song J, Koh WS, Levine M. 2001. Vitamin C: from molecular actions to optimum intake. In: *Handbook of antioxidants*. Cadenzas E, Packer L, (eds) 2nd edition. CRC press. Washington DC, USA. 117-145.
- Parr AJ, Bolwell GP. 2008. Phenols in the plant and in man. The potential for possible nutritional enhancement of the diet by modifying the phenols content or profile. *J Sci Food Agr.* 80:985-1012.
- Podestá L, Velarde FGA, Rodríguez ME, Arjona C. 2001. Efecto del ácido giberélico y del calcio sobre el tamaño, agrietamiento y otros parámetros de calidad en frutos de cerezo (*Prunus avium* L.) cv. Bing. *Investigación agraria. Producción y Protección Vegetales* 16(1):37-48.
- Rademacher W, Temple KE, Greggs DL, Hedden P. 1992. The mode of action of acylcyclohexanoides: A new type of growth retardant. In: *Karszen*,

C.M., Van Loon L.C. and Vreugdenhil, D. Progress (eds.), Plant growth regulation. Kluwer academic, The Netherlands.

Rademacher W. 2000. Growth retardants: Effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. *Annual Review of Plant Physiology and plant Molecular Biology* 51:501-531.

Rademacher W. 2004. Chemical regulation of shoot growth in fruit trees. *Acta Horticulturae* 653:9-15.

Ramírez, H. 2003. El uso de hormonas en la producción de cultivos hortícolas para exportación. Memoria del Tercer Simposio Nacional de Horticultura. Saltillo, Coahuila, México. 1-22 p.

Ramírez-Rodríguez H, Gómez-Castañeda J, Benavides-Mendoza A, Robledo-Torres V, Encina-Rodríguez L, Coello-Coutiño C. 2003. Influencia de prohexadiona-Ca sobre crecimiento vegetativo, producción y calidad de fruto en manzano. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 9(2):279-284.

Ramírez H, Peralta-Manjarrez RM, Benavides-Mendoza A, Sánchez-López A, Robledo-Torres V, Hernández-Dávila J. 2005. Efectos de prohexadiona-ca en tomate y su relación con la variación de la concentración de giberelinas y citocininas. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 11(2):283-290.

Ramírez H, Alonso S, Benavides A. 2006. Prohexadione-ca modifies growth and endogenous hormones in the shoot apex in apple trees. *Acta Horticulturae* 727:117-124.

Ramírez H, Herrera-Gámez B, Méndez-Quiroa YH, Benavides-Mendoza A, Álvarez-Mares V, Rancaño-Arrijoa JH, Villareal-Quintanilla JA. 2008. Prohexadiona de calcio disminuye el contenido de giberelinas endógenas en ápices de tomate saladette y chile pimienta. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 14(2):193-198.

Ramírez H, Méndez-Paredes O, Benavides-Mendoza A, Amado-Ramírez C. 2009. Influencia de prohexadiona-Ca y promotores de oxidación sobre el rendimiento, capsaicina y vitamina C en chile jalapeño. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15(3):231-236.

Ramírez H, Herrera-Gámez B, Benavides-Mendoza A, Rancaño-Arrijoa J, Álvarez-Mares V, Amado-Ramírez C, Martínez-Osorio A. 2010a. Prohexadiona de calcio incrementa la capacidad antioxidante, el contenido de licopeno y la actividad enzimática en frutos de tomate floradade. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 16(3):155-160.

- Ramírez H, Amado-Ramírez C, Benavides-Mendoza A, Robledo-Torres V, Martínez-Osorio A. 2010b. Prohexadiona-Ca, AG<sub>3</sub>, ANOXA y BA modifican indicadores fisiológicos en chile mirador (*Capsicum annum* L.). Revista Chapingo Serie Horticultura 16(2):83-89.
- Ramírez H, Rivera-Cruz CE, Benavides-Mendoza A, Robledo-Torres V, Reyna-Sustaita G. 2010c. Prohexadiona-Ca, una alternativa en la producción de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Revista Chapingo Serie Horticultura 16(2):139-146.
- Ramírez H, Herrera-Gómez B, Benavides-Mendoza A, Rancaño-Arrijoa J, Álvarez-Mares V, Amado-Ramírez C, Martínez-Osorio A. 2010d. Prohexadiona de calcio incrementa la capacidad antioxidante, el contenido de licopeno y la actividad enzimática en frutos de tomate floradade. Revista Chapingo Serie Horticultura 16(3):155-160.
- Ramírez H, Sánchez-Canseco JC, Ramírez-Pérez LJ, Benavides A. 2014. Significance of hormones on flower bud initiation and fruit quality in apple: Our expertise. Acta Horticulturae. 1042: 73-77.
- Ramírez H, Ramírez-Pérez LJ, Rancaño-Arrijoa JH. 2015. Prohexadione-Ca modifies canopy, antioxidant levels and enzymatic activity on jalapeño pepper grown in greenhouse. International Journal of Plant & Soil Science 7(6):319-328.
- Ré R., P. Bramley y E. Rice. 2002. Effects of food processing on flavonoids and lycopene status in a Mediterranean tomato variety. Free Radical Research 36(7): 803-810.
- Retamales J. 2007. Actualización en hormonas vegetales y reguladores de crecimiento: aspectos básicos y modos de acción. Mc. Graw – Hill. Mar de Plata, Argentina.
- Rodríguez PJM, Méndez LJR, Trujillo Y. 2001. Radicales libres en la biomedicina y el estrés oxidativo. Revista Cubana de Medicina Militar 30: 36-44.
- Rojano B, Gaviria C, Gil M, Saez J, Schinella G, Tournier H. 2008. Actividad antioxidante del isoespintanol en diferentes medios. Vitae 15(1):173-181.
- Rojas G. 1980. Manual teórico práctico de herbicidas y fitoreguladores. México, D. F. 116 p.
- Rojas M. y Ramírez H. 1987. Control hormonal del desarrollo de las plantas. Editorial Limusa. México. D.F. 239 pp.

- Rosa A, Deiana M, Casu V, Paccagnini S, Appendino G, Ballero M. 2002. Antioxidant activity of capsinoids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50 (25): 7396-7401.
- SAGARPA. 2005. Análisis agropecuario del tomate. Sinaloa, México. 9 p.
- Salisbury FB. y Ross CW. 1994. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica. México, D. F.
- Salisbury B, Ross W. 1996. Fisiología vegetal. México, D. F. 759 p.
- Shi J. 2000 Lycopene in tomatoes: chemical and physical properties affected by food processing. *Crit Rev Food Sci. Nutr.* 40:1-42.
- Srivastava LM. 2001. Plant growth and development. Hormones and environment. Academic Press, U. S. A.
- Thimann K. 1938. Hormones and the analysis of grow. *Plant physiology* 13(3): 437- 449.
- Tsegaw T, Hammes S, Robbertse J. 2005. Paclobutrazol-induced leaf, stem, and root anatomical modification in potato. *HortScience* 40(5):1343-1346.
- Vitale A, Bernatene E, Pomilio A. 2010. Carotenoides en quimioprevención: licopeno. *Acta Bioquim Clin Latinoamérica* 44: 195-238.
- Weaver RJ. 1996. Reguladores del crecimiento de las plantas en la agricultura. Octava reimpresión. Editorial Trillas. México.
- Yáñez RJN. 2002. Nutrición y regulación del crecimiento en hortalizas y frutales. Memoria del segundo simposio nacional de Horticultura. Nutrición de cultivos hortícolas. Saltillo, Coahuila. México 1-22 pp.