

**EFFECTO DE PROHEXADIONA-CA EN LA
FISIOLOGÍA DE TOMATE DE CÁSCARA
(*Physalis ixocarpa* Brot.)**

CARLOS ENRIQUE RIVERA CRUZ

TESIS

*Presentado como Requisito Parcial para
Obtener el Grado de:*

**Maestro en Ciencias
en Horticultura**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

PROGRAMA DE GRADUADOS

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Febrero de 2010



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIRECCIÓN DE POSTGRADO

**EFFECTO DE PROHEXADIONA-CA EN LA FISIOLÓGIA DE
TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* Brot.)**

POR:

CARLOS ENRIQUE RIVERA CRUZ

Elaborado bajo la supervisión del comité particular de asesoría y
aprobada como requisito parcial, para optar al grado de

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN HORTICULTURA**

COMITÉ PARTICULAR

Asesor principal: _____

Dr. Homero Ramírez Rodríguez

Asesor: _____

Dr. Adalberto Benavides Mendoza

Asesor: _____

Dr. Valentín Robledo Torres

Dr. Jerónimo Landeros Flores

Director de Postgrado

Buнавista, Saltillo, Coahuila, México. Febrero de 2010

AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, por darme la dicha de la vida y por mostrarme que cada día es una nueva oportunidad de ser mejores.

A mi **ALMA TERRA MATER**, a Don Antonio Narro, por la noble causa de ofrecer el conocimiento de la más hermosa ciencia, la agronomía.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACYT**), gracias.

Al **Dr. Homero Ramírez Rodríguez**, por su valioso tiempo para la realización de esta investigación. Pero sobre todo por su confianza que depositó en mí y por ser un ejemplo de persona y profesionalista, digno de admirar.

Al **Dr. Valentín Robledo Torres**, por sus sugerencias y apoyo.

Al **Dr. Adalberto Benavides Mendoza**, por el apoyo brindado.

Al **Ing. José Ángel de la Cruz Bretón[†]**, por su amistad y apoyo para mi formación profesional.

A la **QFB. Guillermina Reyna Sustaita**, por su valioso apoyo en el análisis de laboratorio.

DEDICATORIA

A mis padres, con todo el amor, respeto y admiración, por su paciencia y por que me han enseñado a valorar la vida.

Sra. Bernardina Cruz Santiago
Sr. Vicente Rivera Moreno

A mi esposa, Aricelda Uribe López, por que bien o mal hemos luchado por la felicidad de nuestra familia.

A mi hija, Karla Nayara Rivera Uribe, por ser la más hermosa responsabilidad, el motivo de que cada día sean mayores mis esfuerzos. “Por que no hay nada más hermoso que escucharte decirme papito”.

A mi hermana, Guadalupe, por el apoyo y confianza, y **a mi sobrina Monserrat** por ser parte de la alegría de la familia.

A mis hermanos, Hugo Baltazar y Rodrigo, por mantener siempre la unión familiar, por el amor y respeto que siempre ha prevalecido.

A toda mi familia, Rivera Moreno, Cruz Santiago y Uribe López, por el apoyo y consejos que han dado soporte a mis decisiones.

A mis amigos, Luis Zaragoza, Rogelio Zaragoza, Eustaquio Domínguez, Jairo Domínguez, Juan Domínguez, Alberto Aguirre, Alicia del Rosa, Celso Martínez, Fabián Aguirre, Carlos Amado, Noe Martínez, Cesar Márquez, Diana Sifuentes, Auri Gutiérrez y a todas aquellas personas que forman parte especial en mi vida.

En memoria de **mi abuelo, Baltazar Rivera[†]**, un ejemplo del esfuerzo diario para salir de las adversidades.

COMPENDIO

**EFEECTO DE PROHEXADIONA–CA EN LA FISIOLÓGÍA DE TOMATE DE
CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* Brot.)**

POR

CARLOS ENRIQUE RIVERA CRUZ

MAESTRIA EN CIENCIAS

EN HORTICULTURA

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

Buenavista, Saltillo, Coahuila. Febrero de 2010

DR. HOMERO RAMÍREZ RODRÍGUEZ –Asesor–

Palabras clave: tomate de cáscara, P-Ca, retardante de crecimiento.

La investigación se realizó con el propósito de conocer los efectos de prohexadiona-Ca (P-Ca) en plantas de tomate de cáscara, sobre parámetros hortícolas y en propiedades químicas en fruto. Se cultivaron a campo abierto

en el 2008. Cuando las plantas presentaron primordios florales, con un atomizador se aplicaron los tratamientos, $125 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$, $175 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ y $200 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ de P-Ca, y el testigo (agua). Se evaluó altura final de planta, número de frutos por planta, tamaño y peso de fruto, rendimiento, contenido de vitamina C, proteína, actividad catalasa, peroxidasa y minerales.

La aplicación de P-Ca reduce la altura final de planta. El número de frutos por planta se incrementó con la aplicación de 175 y $200 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ de P-Ca sin afectar el tamaño y peso de fruto, reflejado en un aumento significativo del rendimiento por planta. P-Ca aumentó el contenido de vitamina C y con un punto máximo de saturación entre 175 y $200 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ se incrementa la actividad catalasa en fruto. La aplicación de los tratamientos no afectó los niveles de proteína, peroxidasa y minerales en fruto.

ABSTRACT

**EFFECT OF PROHEXADIONE-CA IN THE PHYSIOLOGY OF HUSK
TOMATO (*Physalis ixocarpa* Brot.)**

BY

CARLOS ENRIQUE RIVERA CRUZ

MASTER IN SCIENCE

HORTICULTURE

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

Buenavista, Saltillo, Coahuila. February 2010

DR. HOMERO RAMÍREZ RODRÍGUEZ –Adviser–

Key words: husk tomato, P-Ca, growth retardant.

This research was conducted with the purpose to learn on the effects of prohexadione-ca (P-Ca) on some phenotypic horticultural parameters as well as on fruit quality in husk tomato plants. The crop was cultivated in 2008.

When plants reached first blossom, P- Ca at a dosages of 0 (control-water), 125, 175 and 200 mg·liter⁻¹ was sprayed using a hand sprayer. The effects of the treatments were evaluated on final plant height, number of fruits per plant, size and weight of fruit, yield, vitamin C content, protein content, catalase and peroxidase activity and minerals content.

The application of P-Ca reduced the final plant height. The number of fruits per plant increased with the application of 175 and 200 mg·liter⁻¹ with no effect on the size and weight of fruit. There was a significant increase in yield with P- Ca. The growth retardant, also increased the vitamin C content with a maximum peak of saturation between 175 and 200 mg·liter⁻¹. The catalase activity increased with P-Ca treatments in fruit. The treatments with P-Ca did not affect levels of protein, peroxidase or nutrients in fruit.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN	1
Objetivos.....	3
Hipótesis.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA	4
Generalidades del Cultivo <i>Physalis ixocarpa</i> Brot...	4
Requerimientos Edafoclimáticos.....	4
Importancia Económica y Alimenticia.....	5
Biorreguladores.....	6
Retardantes de Crecimiento.....	8
Prohexadiona de Ca.....	9
Propiedades Químicas en Hortalizas.....	11
Vitamina C.....	11
Proteína.....	13
Actividad Enzimática.....	15
Minerales.....	17
ARTÍCULO	19
CONCLUSIONES	46
LITERATURA CITADA	47

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
CUADRO 1. Principales entidades productoras de Tomate de cáscara en México. Producción anual (Riego+temporal) en el 2008....	6
CUADRO 2. Efecto de Prohexadiona de Ca sobre parámetros productivos de tomate de cáscara “Rendidora”.....	30
CUADRO 3. Efecto de Prohexadiona de Ca en el contenido de proteína y peroxidasa en frutos de tomate de cáscara “Rendidora”.....	34
CUADRO 4. Efecto de Prohexadiona de Ca en el contenido mineral (N, Ca, Na, K, Zn, Cu, Mg y Mn) en frutos de tomate de cáscara “Rendidora”.....	37

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. Efecto de Prohexadiona-Ca sobre la altura de plantas de tomate de cáscara “Rendidora”.....	28
FIGURA 2. Efecto de Prohexadiona-Ca en el rendimiento por planta de tomate de cáscara “Rendidora”.....	31
FIGURA 3. Efecto de Prohexadiona-Ca en el contenido de vitamina C en frutos de tomate de de cáscara “Rendidora”.....	33
FIGURA 4. Efecto de Prohexadiona-Ca en el contenido de actividad enzimática catalasa en frutos de tomate de cáscara “Rendidora”.....	35

INTRODUCCIÓN

El tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) es una planta herbácea, que pertenece a la familia de las Solanáceas. Su centro de origen y domesticación se encuentran en México y fue conocida por Mayas y Aztecas desde épocas prehispánicas (Menzel, 1951). Esta hortaliza junto con el chile, jitomate, papa y cacahuete, son de las hortalizas de mayor importancia en México en cuanto a superficie sembrada se refiere (SIAP, 2009b). Los estados con mayor producción son Sinaloa, Puebla, Jalisco, Estado de México y Zacatecas (SIAP, 2009b). En esas entidades se obtienen producciones por debajo del potencial de la planta, como lo han demostrado diversos trabajos experimentales (Peña, 2001). Esto refleja la exigencia del cultivo para experimentarlo con nuevas técnicas de manejo que mejoren la producción y la calidad de esta hortaliza.

Este cultivo es un componente importante en la alimentación de la población mexicana. Su fruto es utilizado en una amplia variedad de platillos tradicionales y como condimento en salsas agregadas, sopas y ensaladas. El tomate de cáscara y otras hortalizas son valoradas principalmente y de forma importante por su valor nutritivo y por características como formas, color y sabor que las hacen atractivas. De las principales propiedades nutritivas que estas ofrecen son vitaminas, proteínas, enzimas, fibra y antioxidantes, que protegen a diversas moléculas durante el metabolismo.

Lo que fortalece y previene al organismo humano de enfermedades (Carr y Frei, 1999).

Debido a la importancia que todo lo anterior genera en el tomate de cáscara, es necesario experimentar nuevas tecnologías de cultivo, para mejorar su rendimiento y ofertar una hortaliza en cantidad y calidad a una mayor demanda y exigencia.

Se ha demostrado que existen diferentes factores bióticos y abióticos que influyen en la calidad física (Raven *et al.*, 1992) y química (Melo y Cuamatzi, 2007; Ding *et al.*, 2002; Beltrán *et al.*, 2006) de las hortalizas. La aplicación de biorreguladores que actúen en equilibrio con la naturaleza y no causen efectos adversos en la salud humana es una opción para el incremento y mejora de la producción en la horticultura moderna. Estos intervienen en los niveles endógenos de giberelinas, auxinas y citocininas, lo que influye en la floración, fructificación, tuberización y el rebrote de hojas, principalmente (Kamara, 2001). Entre los biorreguladores existen los retardantes de crecimiento, los cuales actúan inhibiendo y/o promoviendo ciertos procesos en biosíntesis, transporte, percepción o transducción de señales en relación con hormonas vegetales (Retamales, 2007).

La prohexadiona de Ca, es un retardante de crecimiento vegetativo que en su acción, inhibe la síntesis de giberelinas biológicamente activas, sin efectos tóxicos y de persistencia limitada (Evans *et al.*, 1999). Se ha

demostrado que este retardante bloquea el crecimiento de planta, observado en cultivos como manzano, pera (Costa *et al.*, 2006), chile y tomate (Ramírez *et al.*, 2008) principalmente, con efectos positivos en la producción y calidad de fruto en general y en un amplio y diverso número de factores del metabolismo en la fisiología de la planta, que se refleja finalmente en el producto cosechado (Costa *et al.*, 2006; Ramírez *et al.*, 2008). En base a lo anterior, la presente investigación plantea los siguientes objetivos e hipótesis.

OBJETIVOS

- Evaluar los efectos de Prohexadiona-Ca en parámetros hortícolas en planta y en fruto del tomate de cáscara.
- Analizar los posibles cambios que ocasione Prohexadiona-Ca en propiedades bromatológicas en el fruto de tomate de cáscara.

HIPOTESIS

- Prohexadiona-Ca modifica positivamente el fenotipo de planta en tomate de cáscara.
- Prohexadiona-Ca enriquece las propiedades bromatológicas en fruto de tomate de cáscara.

REVISIÓN DE LITERATURA

Generalidades del Cultivo *Physalis ixocarpa* Brot.

El tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) es una planta herbácea, que pertenece a la familia de las Solanáceas, también es conocida como tomate, tomate verde, tomate de hoja, tomate de fresadilla, tomate de bolsa, tomatillo, miltomate y husk-tomato en inglés. Tiene su centro de origen y domesticación en México (Menzel, 1951). El tomate de cáscara es un componente importante de la alimentación del mexicano, su fruto es utilizado en una amplia variedad de platillos y elaboración de salsas. A esta hortaliza se le encuentra distribuida en la mayoría de los estados de México en forma silvestre, fomentada, cultivada y domesticada.

Requerimientos Edafoclimáticos

Es una planta anual con hojas alternas, alargadas y ovadas, sus flores son amarillentas con manchas oscuras, el fruto es esférico pegajoso, cubierto por el cáliz persistente y ligeramente ácido. El tomate de cáscara es una planta que crece bien en casi todo tipo de suelo y clima, su límite lo establecen las heladas bajo las cuales no se desarrolla adecuadamente (SIAP, 2009a). Se puede cultivar en un rango de 10 a 2600 msnm (Montes *et al.*, 2000).

La temperatura óptima promedio para la siembra es de 20 a 25 °C preferentemente en viveros. Durante el crecimiento vegetativo se requiere de los 22 a 26 °C; mientras que temperaturas mayores a los 30 °C provoca la deshidratación del tubo polínico, con lo que induce aborto y malformaciones de frutos (Agronet, 2009).

Se cultiva preferentemente en áreas que disponen de riego; por ello, las fechas de siembra varían dentro de cada zona productora, lo cual explica que se encuentre en el mercado todo el año (SIAP, 2009a). En algunas áreas se cultiva en sistema de temporal, tanto con humedad residual como durante la temporada de lluvias. En México, en el año 2008 se cosechó en un total de 16, 313 hectáreas (has) de forma temporal, con una media de producción de 11.51 toneladas por hectárea ($t \cdot ha^{-1}$); mientras que con sistema de riego se cosechó 35, 633 has, con una media de producción de 15.08 $t \cdot ha^{-1}$ (SIAP, 2009b).

Importancia Económica y Alimenticia

El tomate de cáscara, chile, jitomate, papa y cacahuate fueron en el 2008 las hortalizas de mayor importancia en México, en cuanto a superficie sembrada. El tomate de cáscara fue cultivado en todas las regiones agrícolas de México, en el 2008. Los principales estados productores son Sinaloa, Puebla, Jalisco, Estado de México y Zacatecas (ver cuadro 1), los cuales aportan más del 50 por ciento de la producción total nacional, tanto en riego como en temporal (SIAP, 2009b).

En cuanto a su uso, en México el tomate de cáscara es de gran importancia debido a la demanda para la elaboración de diversos platillos tradicionales. Así por ejemplo es utilizado como condimento en innumerables comidas en forma de salsas agregadas, sopas, ensaladas, etc.

Cuadro1. Principales entidades productoras de Tomate de cáscara en México. Producción anual (Riego+Temporal) en el 2008.

Entidad	Hectáreas Sembradas	Producción (Ton)	Rendimiento (ton·ha ⁻¹)	Valor de Producción (miles de pesos)
Sinaloa	12,615.68	148,500.75	12.48	470,692.94
Puebla	4,834.00	50,402.90	10.48	174,878.88
Jalisco	4,216.50	55,126.70	13.08	185,215.06
Edo. México	3,488.30	54,545.48	15.65	262,288.62
Zacatecas	2,877.50	47,765.50	18.43	169,269.25
Total Nacional	46,888.68	609,468.75	13.38	2,288,637.10

Servicio Nacional de Información Agroalimentaria y Pesquera. www.siap.gob.mx

Biorreguladores

Los biorreguladores, son sustancias que se consideran esenciales en la fisiología vegetal. La ausencia, desbalance o utilizarlas inoportunamente en el sitio correspondiente de acción, provocaría que la planta no equilibre su desarrollo e induciría alteraciones en la producción y calidad de frutos (Yañez, 2002). Los biorreguladores u hormonas en plantas son compuestos que ofrecen una solución a la problemática que representan las deficiencias fenotípicas actuales en los cultivos. Estas sustancias presentan grandes ventajas, entre las cuales producen efectos que no son

permanentes, y por lo tanto pueden ser utilizados de acuerdo a las necesidades del horticultor (Ramírez, 2003).

Existen evidencias que postulan dos hechos básicos sobre la acción fundamental de los biorreguladores, una, es que estas actúan a nivel de célula, por lo que los efectos se reflejan en todos los fenómenos fisiológicos basados a fenómenos citológicos y la segunda, que la acción de los biorreguladores ocurre sobre los ácidos nucleicos específicamente en la transcripción del mensaje o de traducción (Rojas y Ramírez, 1996).

La importancia de las hormonas en plantas por sus efectos sobre la fisiología de la misma, a llevado a la producción de productos sintéticos, extractos vegetales y marinos, con características funcionales similares a las hormonas endógenas vegetales, con el objetivo de compensar de forma exógena esos compuestos, de potenciar, acelerar o retrasar los procesos del desarrollo fisiológico, para obtener ventajas en un cultivo competitivo. Los grupos de hormonas que han tenido un impacto significativo en el manejo de hortalizas son las auxinas, giberelinas, citocininas, etileno y abscisinas (Rojas y Ramírez, 1996).

Auxinas: El ácido indolacético (IAA), la auxina más representativa, promueve o reprime la síntesis de fracciones del RNA_m por un mecanismo desconocido. Lo que se ve reflejado en una estimulación o inhibición del alargamiento celular según la concentración en acción de esta hormona.

Entre los procesos fisiológicos que controlan las auxinas son, la iniciación de la radícula, amarre de frutos y tropismos.

Giberelinas: Estas hormonas actúan sobre el RNA desreprimiendo genes y estimulan el crecimiento en un rango amplio de concentraciones en comparación con las auxinas. El efecto característico de esta hormona es la inducción de la germinación, alargue o desarrollo del tallo de planta y la inducción del crecimiento vegetativo.

Citocininas: Por tener adenina en su molécula es probable que las citocininas provengan de la hidrólisis de fracciones de ácidos nucleicos. Estas se caracterizan como hormonas de la división celular, que de forma directa activan este proceso. Las citocininas se involucran principalmente en procesos del metabolismo en tejidos jóvenes.

Etileno: Estas sustancias se encuentran en frutos maduros principalmente, aunque también en áreas como tallo y flores. El efecto más característico de este es promover la maduración de frutos climatéricos y en algunos no climatéricos. La generación del etileno induce el envejecimiento del órgano donde este se produce.

Abscisinas: El ácido abscísico (ABA), la abscisina principal, se encuentra en todos los órganos de la planta. La aplicación de esta hormona a yemas de manzano induce el letargo e inhibe la apertura de la yema. El

ABA se considera una hormona de estrés, debido a que su concentración aumenta en plantas en condiciones de sequía.

Retardantes de Crecimiento

Los reguladores de crecimiento intervienen en los niveles endógenos de giberelinas, auxinas y citocininas, lo que genera cambios en los procesos fisiológicos donde participan estas hormonas, lo cual influye en la floración, fructificación, tuberización y el rebrote de hojas principalmente (Kamara, 2001). Algunos reguladores de crecimiento actúan inhibiendo o promoviendo ciertos procesos en biosíntesis, transporte, percepción o transducción de señales relacionados con hormonas vegetales, por lo cual son utilizados en la agricultura como retardantes de crecimiento, inhibidores de maduración y senescencia (Retamales, 2007).

Existe un gran número de inhibidores de la síntesis de giberelinas, a los cuales se les refiere como retardantes de crecimiento, generalmente utilizados en cultivos ornamentales y árboles frutales. De los principales efectos que se les atribuye son disminuir la longitud de entrenudos, altura de planta e incremento del verde oscuro en hojas (Bai *et al.*, 2004; Davis y Curry, 1991; Rademacher, 1995). Según Rademacher (2000) existen cuatro diferentes tipos de inhibidores de la biosíntesis de giberelinas, entre los cuales se encuentran Cloruro de Clormecuat, Cloruro de Mepicuat, AMO-1618, Ancimidol, Flurprimidol, Tetciclasis, Paclobutrazol, Uniconazol-P, Inabenfido, Trinexapac-etil, Daminozida y recientemente Prohexadiona-Ca.

Algunas de estas sustancias como el clormecuat y el paclobutrazol, tienen la desventaja de persistir en las plantas y de producir efectos tóxicos en los humanos, por lo que se prohíbe su uso en diferentes países (Owens y Stover, 1999).

Prohexadiona de Calcio

La prohexadiona de Calcio (P-Ca) es una hormona caracterizada como un retardante de crecimiento vegetativo, bloquea la biosíntesis de giberelinas A_1 , A_4 y A_7 , biológicamente activas (Evans *et al.*, 1999; Ramírez *et al.*, 2005). P-Ca se comenzó a utilizar en países europeos. Su efecto en plantas se ha estudiado en cultivos principalmente en manzana, pera, arroz, trigo, frambuesa, cereza, fresa y tomate.

La estructura de Prohexadiona-Ca se asemeja al ácido 2-oxoglutarico, el cual es el co-sustrato para las dioxigenasas catalizando hidroxilaciones envueltas en estadios tardíos. El punto de acción de P-Ca puede estar en 3β -hidroxilación entre la reacción que estimula la formación de AG_1 , con lo que se reducen los niveles de giberelinas activas y causa la acumulación del precursor inmediato, GA_{20} biológicamente inactiva (Evans *et al.*, 1999).

En plantas de Manzano, se ha observado que esta hormona es absorbida por el follaje en aproximadamente 8 horas, con un traslado de forma acropetal hacia los puntos de crecimiento y un mínimo movimiento

basipetalo. La degradación de esta sustancia en plantas es de pocas semanas después de su absorción, con una desactivación y desdoblamiento de la estructura del anillo en ácido propano 1,2,3-tricarboxílico que se incorpora al metabolismo de la planta. En el suelo en un tiempo no mayor a los 7 días se degrada principalmente en CO₂; en el agua, la hormona es degradada principalmente en CO₂ por fotólisis. Mientras que en mamíferos no se han observado acumulaciones en tejidos. La P-Ca no presenta riesgos mutagénicos, cancerígenos o teratogénicos, ni efectos negativos en pájaros, peces, abejas o microorganismos del suelo (Evans *et al.*, 1999).

Los efectos de P-Ca se han evaluado en diferentes cultivos y condiciones, con lo que se han obtenido resultados importantes en el reducimiento del crecimiento vegetativo en frutales y otras hortalizas (Amado, 2009; Ramírez *et al.*, 2006; Ramírez *et al.*, 2008). En estos grupos se han obtenido efectos positivos en rendimiento, tamaño y peso de frutos, en el contenido de antioxidantes, acumulado de fotoasimilados en frutos y en la inducción de resistencia a patógenos en planta (Amado, 2009; Costa *et al.*, 2006; Ramírez *et al.*, 2007). Por lo anterior, esta sustancia se ha considerado y utilizado como una alternativa moderna para la producción agrícola (Ramírez, 2003).

Propiedades Químicas en Hortalizas

Las hortalizas son consumidas principalmente por su valor nutritivo y por la infinidad de variedad en formas, color y sabor que las hacen

atractivas. En la actualidad el consumidor prefiere una dieta balanceada con atributos en propiedades saludables, los cuales se manifiestan con funciones beneficiosas en el organismo con la prevención y protección de las enfermedades crónicas no transmisibles y disfuncionales. Las condiciones del cultivo, las variedades, clima y formas de preparación del alimento, influyen en el valor nutritivo de las hortalizas (López, 2003).

Vitamina C

La vitamina C o ácido L-ascórbico es uno de los principales antioxidantes en las células vegetales. Se ha informado en numerosas ocasiones sobre su potencial redox en la fotosíntesis, en el estrés oxidativo por el medio ambiente (ozono, radiación UV, luz, SO₂, etc.), en heridas y en patógenos inducidos por los procesos oxidativos. El ácido ascórbico es cofactor para numerosas enzimas como las hidroxilasas y dioxigenasas, algunas de las cuales están implicadas en la biosíntesis de fitohormonas y en metabolitos secundarios (Lorence *et al.*, 2004). En las plantas la síntesis del ácido ascórbico es por vía L-galactosa y L-galactona (Chen *et al.*, 2003).

La vitamina C, es un antioxidante hidro-soluble, que protege a diversas moléculas de los radicales libres y de otros tipos de reacciones de oxígeno generados durante el metabolismo. En el cuerpo humano actúa en proteínas, lípidos, carbohidratos y ácidos nucleicos. Los radicales libres pueden ser responsables del proceso de envejecimiento y del desarrollo de enfermedades cardiovasculares como el cáncer (Vorvick y Zieve, 2009), por

lo que la vitamina C previene esas adversidades; además, es capaz de regenerar otros antioxidantes como la vitamina E (Carr y Frei, 1999). Por lo anterior, el ácido ascórbico es de vital importancia en procesos metabólicos en el ser humano, aunque no puede ser almacenado en el cuerpo, mismo que es incapaz de sintetizar esta vitamina, por lo que debe ser adquirido regularmente a partir de fuentes de alimentos vegetales (Lorence *et al.*, 2004).

La investigación agronómica ha tomado un enfoque en el estudio de factores que influyen en el contenido de este y otros antioxidantes en plantas y frutos de diferentes cultivos. Se ha demostrado que el contenido de vitamina C es influido por factores como, el tipo de sustrato (Premuzic *et al.*, 1998), la aplicación de N al suelo (McCluskey *et al.*, 1993), la aplicación de K de forma foliar (Lester *et al.*, 2005), el someter a frutos a un estrés de frío (Tatsumi *et al.*, 2006), el estrés como efecto de la resistencia a patógenos (Liu *et al.*, 1992) y la aplicación exógena de hormonas, que son parte importante en su síntesis, como inductoras de esta sustancia, tal como lo mencionan Wilson *et al.* (2008) con la citocinina 6-bencilaminopurina y Belakbir (1998) con la aplicación de ácido giberélico (GA₃) en plantas de Chile.

Proteína

Las proteínas son moléculas de gran tamaño formadas por largas cadenas lineales de sus elementos constitutivos propios, compuestas por 20

aminoácidos estándar conocidos como α -aminoácidos, son los de mayor abundancia en las células y constituyen aproximadamente la mitad del peso seco de algunos organismos. De las principales funciones que desempeñan, las proteínas son catalizadores bioquímicos (enzimas), se fijan a otras moléculas para participar en el almacenamiento y transporte (almacén y transporte), proporcionan soporte mecánico a células (estructura), realizan funciones mecánicas en organismo y procesos biológicos (contracción), controlan la transcripción génica reguladora, regulan actividades bioquímicas en células o tejidos, funcionan como receptores de hormonas (hormonal), y protegen al organismo de bacterias y virus, como la inmunoglobulina (defensa) (Melo y Cuamatzi, 2007).

Las proteínas vegetales son de bajo contenido en aminoácidos sin considerarse como fuente pobre de estas sustancias, debido a que existe una alta diversidad en especies y variedades que pueden ser utilizadas como fuentes (Armstrong y Bennett, 1982). Para sintetizar sus proteínas esenciales las plantas pueden fabricar sus aminoácidos a partir de nitrógeno, dióxido de carbono y otros compuestos por medio de la fotosíntesis.

Los aminoácidos, moléculas simples formados por un grupo amino, son la base para la síntesis de péptidos y de proteínas. Son sustancias nutritivas de rápida y directa absorción por la planta. Se transportan a zonas de la planta con mayor actividad metabólica con crecimiento activo como yemas, brotes, meristemas apicales, frutos y raíces (Cortés, 2009). Los precursores de estos son el N y el CO₂ del aire. Las plantas producen los

grupos amino a partir de los iones amonio, los cuales se forman mediante reducciones del N₂ atmosférico (por microorganismos) o de iones nitrato (por oxidaciones atmosféricas). El N asimilado como nitrato se reduce a la planta a amoniaco antes de utilizarse para la síntesis de los aminoácidos y otras sustancias nitrogenadas (McGilvery, 1977).

Son diversos los factores que pueden influir en los niveles de proteína en plantas, entre los cuales se encuentran los niveles de nutrientes en suelo o la fertilización a base de fósforo (Soldini *et al.*, 2008) y nitrógeno (Hevia *et al.*, 2001), el estrés a temperaturas bajas (Gómez *et al.*, 2004) ó altas (Gulen y Eris, 2003) y todos aquellos que induzcan una mayor actividad fotosintética (Reyes *et al.*, 2000). En gramíneas se ha observado que un mayor contenido de aminoácidos como la lisina, metionina y triptófano influyen de forma importante en el contenido de proteínas (Hevia *et al.*, 2002).

Actividad enzimática

Las proteínas son moléculas que realizan diversas funciones en los organismos. Algunas se han especializado como catalizadoras químicas, conocidas como enzimas (Melo y Cuamatzi, 2007).

Las especies oxidativas y los reactivos de los alcaloides, provocan la inactivación enzimática, pero la especialización de las enzimas hace que un grupo de estas actúen contra estos contaminantes, al cual se le

denomina enzimas antioxidantes (Hansberg, 2002). Las enzimas antioxidantes son esenciales para células aeróbicas por mantener equilibrada la concentración de radicales libres. En los organismos existen diversos sistemas de defensa antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos que se coordinan y protegen al organismo de los riesgos que conlleva el estrés oxidativo (Ayala, 2005).

Catalasa

La catalasa (CAT; EC 1.11.1.6) es una enzima antioxidante que participa en el control intracelular de las concentraciones de H_2O_2 generado por el metabolismo u otras fuentes. Existen tres grupos de enzimas CAT que detoxifican el H_2O_2 en O_2 y H_2O , estos son las CAT verdaderas que son homotetraméricas con masas moleculares que van desde los 200 KDa (kilo Daltones) a 350 KDa, las pseudo-catalasas que contienen manganeso y están presentes en bacterias aerobias facultativas, y las catalasas-peroxidasas o bifuncionales (Beltrán *et al.*, 2006).

Los niveles de CAT se ha relacionado con una mayor tolerancia al daño oxidativo por frío (Lafuente *et al.*, 2004) y a la tolerancia de patógenos (Salvador *et al.*, 1999), por lo que puede suponerse que el efecto es consecuencia de la activación de genes relacionados con la defensa celular al estrés (Ding *et al.*, 2002).

Peroxidasa

La peroxidasa (POD, E.C. 1.11.1.7) es una enzima que cataliza la oxidación de un amplio número de sustratos orgánicos e inorgánicos. Esta enzima utiliza al ascorbato como donador de protones, degrada el H₂O₂ sin generar colores pardos. Se clasifica como enzima antioxidante (ascorbato-peroxidasa) (Sala y Lafuente, 2000). Las funciones de las POD en plantas son muy variadas y específicas del tejido en el que se producen, pueden participar en la oxidación de compuestos tóxicos, en la biosíntesis de la pared celular, en el catabolismo del ácido 3-indolacético y en la biosíntesis de etileno (Campa, 1991).

La respuesta de los niveles de la actividad POD se ha relacionado con el estrés por altas (Andrews *et al.*, 2004) y bajas (Edreva *et al.*, 1993) temperaturas, con la respuesta de defensa del fruto en presencia de patógenos (Maksimov *et al.*, 2003) y con el proceso o etapas de maduración de frutos (Robinson, 1991).

Minerales

Los minerales en plantas son necesarios para su crecimiento, intercambio energético, formación de nuevos órganos, continuidad de la especie, entre otros procesos (Sánchez, 1984). Influencian en el crecimiento, y en la tolerancia y resistencia de las plantas a patógenos (Velasco, 1999). Las funciones de los minerales en la planta son muy variados y diversos,

debido a que cada uno tiene una multifuncionalidad. Forman parte de las enzimas que aceleran y hacen posibles las reacciones químicas en las plantas (Sánchez, 1984).

De las funciones celulares de los elementos, se encuentran (Raven *et al.*, 1992; Sánchez, 2007):

- Constituyentes de moléculas orgánicas: el N forma parte de la estructura de aminoácidos, enzimas, coenzimas y pigmentos, y el S interviene en la respiración y fijación de N.

- Reserva energética: el P interviene en procesos como el almacenamiento y transferencia de energía, y fijación de N. El B es un constituyente de ATPasa de membranas celulares e interviene en la síntesis de proteínas y ácidos nucleicos.

- De forma iónica: el K interviene en procesos osmóticos, en la apertura y cierre de estomas, en la fotosíntesis, respiración, fijación de N y transporte de carbohidratos. El Mg participa en procesos como la absorción iónica, fotosíntesis, respiración, almacenamiento y transferencia de energía. El Ca en la absorción iónica, reacciones con hormonas vegetales y activación enzimática.

- Reacciones Redox: el Fe, forma parte de quelatos, fitoferitina, hemo-peroxidasas, catalasa, citocromo, reductasa de sulfito, oxidasa de sulfito e hidrogenasa, etc. El Mn es un constituyente de la activación de la metionina, quinasas pirúvica, carboxilasas pirúvica, enzima málica, etc. El Cu interviene en procesos como fotosíntesis, respiración, regulación

hormonal y fijación de N. El Zn participa en la respiración, control hormonal y síntesis de proteínas, y el Na interviene en procesos de control hormonal.

Diversos estudios han demostrado que los frutos son los principales en mostrar la deficiencia de minerales en desordenes fisiológicos en la planta o durante la reserva. El Ca influye en la firmeza del fruto, el N, K, B y Mg afectan el tamaño y peso de fruto, indicando su importancia en la traslocación de carbohidratos (Martínez *et al.*, 2008). Los elementos minerales pueden incrementar o disminuir la resistencia o tolerancia de los cultivos a los patógenos (Velasco, 1999).

**PROHEXADIONA–CA, UNA ALTERNATIVA EN LA
PRODUCCIÓN DE TOMATE DE CÁSCARA
(*Physalis ixocarpa* Brot.)**

H. Ramírez^{1¶}; C. E. Rivera-Cruz¹; A. Benavides-Mendoza¹; V. Robledo-
Torres¹; G. Reyna-Sustaita²

¹Departamento de Horticultura. ²Departamento de Ciencias Básicas. Universidad
Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Correo-e: homeror@terra.com.mx (¶Autor responsable)

RESUMEN

El tomate de cáscara, por su superficie cultivada y su constante aumento en el consumo *per capita*, se considera una de las principales hortalizas en México. Se cultiva prácticamente en cualquier región del país, aunque con una producción media nacional por debajo de su potencial. Prohexadiona de Ca (P-Ca), es un retardante del crecimiento señalado recientemente como una alternativa prometedora en la horticultura moderna, principalmente para mejorar la producción y calidad del producto cosechado. En base a lo anterior, se evaluaron los efectos de P-Ca sobre el crecimiento vegetativo y productivo; así como en propiedades químicas del fruto en tomate de cáscara. Se realizaron dos aplicaciones de P-Ca a diferentes

dosis (0, 125, 175 y 200 mg·litro⁻¹). La primera se realizó cuando las plantas presentaron primordios florales y la segunda 20 días después. Con un diseño en bloques completos al azar y una comparación de medias con la prueba DMS a una $P \leq 0.05$, se demostró que P-Ca redujo significativamente la altura de planta, aumentó notablemente el número de frutos, el rendimiento por planta (200 mg·litro⁻¹), el contenido de vitamina C en frutos (175 y 200 mg·litro⁻¹) y la actividad enzimática catalasa (175 mg·litro⁻¹). Las variables de tamaño y peso de fruto, el contenido de proteína, la actividad enzimática peroxidasa y el contenido mineral en fruto no fueron afectados por P-Ca.

Palabras clave adicionales: P-Ca, vitamina C, retardante de crecimiento, tomate de cáscara.

**PROHEXADIONE-CA, AN ALTERNATIVE IN THE PRODUCTION OF
HUSK-TOMATO (*Physalis ixocarpa* Brot.)**

ABSTRACT

Husk tomato is a vegetable crop which in recent years has been increasing in demand and surface in México. It is considered as one of the main horticultural species as well. At the present time it is growing in almost any agriculture region in daunting. The national yield per hectare of this crop is under its potential. Prohexadione-Ca (P-Ca) is a growth retardant which has showed positive alternative in modern horticulture in under to improve yield and crop quality among several species. On this basis, the effects of P-Ca were evaluated in husk tomato. The growth retardant was applied twice at 0 (control), 125, 175 and 200 mg-liter⁻¹. The first spray was conducted when plants showed first blossom; where as the second application was done 20 days after. The study was established in open field using a randomized block design using a DMS ($P \leq 0.05$) statistical test. It was observed that P-Ca reduced plant hight, increased number of fruits per plant, yield (200 mg-liter⁻¹), vitamin C content in fruits (175 and 200 mg-liter⁻¹) and catalase activity (175 mg-liter⁻¹). Other parameters such as weight and size of fruits, protein content, peroxidase activity and nutrient content were not affected by P-Ca.

Additional key words: P-Ca, vitamin C, growth retardant, husk-tomato.

INTRODUCCIÓN

El tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) es la quinta hortaliza de mayor importancia en México por su superficie cultivada (SIAP, 2009). En años recientes, en el país, el consumo *per cápita* de tomate de cáscara ha ido en aumento. Esta especie se localiza en diferentes regiones del país, ya sea en forma silvestre, cultivada o mejorada; y se cultiva desde los 10 a los 2600 msnm. En México se reporta una media de producción de 12 t·ha⁻¹, cuando su potencial productivo alcanza en trabajos experimentales hasta las 40 t·ha⁻¹ (Peña, 2001). Por lo tanto, es oportuno considerar nuevas alternativas de producción.

El uso de biorreguladores que actúen en armonía con la naturaleza y no causen efectos adversos en la salud humana, abren la posibilidad de ser utilizados en la horticultura para aumentar y mejorar la producción hortícola. El uso de estas sustancias tiene la ventaja de producir efectos benéficos en hortalizas de acuerdo a las necesidades del productor (Rojas y Ramírez, 1993). Los retardantes de crecimiento vegetativo favorecen el cuajado de frutos, debido a que inhiben la síntesis de giberelinas. Prohexadiona de Calcio (P-Ca) es un retardante de crecimiento que bloquea la biosíntesis de giberelinas en ápices, reduce el crecimiento vegetativo, induce la formación de yemas florales e incrementa el cuajado de fruto (Ramírez *et al.*, 2005; Unrath, 1999).

Con la visión de obtener un aumento y la mejora en la producción de tomate de cáscara y de analizar otros posibles efectos del retardante vegetativo P-Ca en el cultivo, se realizó el presente trabajo planteando como objetivos, el evaluar los efectos de este retardante de crecimiento en parámetros hortícolas en planta y en fruto de tomate de cáscara, y conocer los posibles cambios en propiedades bromatológicas en el fruto.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se desarrolló en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, unidad Saltillo, durante el periodo 2008 - 2009. Se utilizaron semillas certificadas de Tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) variedad Rendidora. Las semillas fueron sembradas en charolas de poliestireno de 200 cavidades. Cuando las plántulas presentaron 15 cm de altura en promedio, se transplantó a campo abierto con 1.20 m entre surcos y 30 cm entre plantas (una densidad de 22,222 plantas·ha⁻¹).

Se evaluó la aplicación de tres dosis de P-Ca, 125, 175, 200 mg·litro⁻¹ y un testigo (agua). Se realizaron dos aplicaciones de P-Ca; la primera cuando las plantas presentaban primordios florales y la segunda 20 días después. La aplicación de P-Ca se realizó por la mañana sobre el follaje de las plantas a punto de goteo. Para el análisis estadístico de los datos, se utilizó un diseño en bloques completos al azar y la prueba de DMS ($P \leq 0.05$) para la comparación de medias. Las variables evaluadas fueron; altura final de planta, número de frutos por planta, tamaño de frutos (diámetro polar y ecuatorial de fruto), peso promedio de fruto, rendimiento, contenido de vitamina C, proteína, actividad enzimática (catalasa y peroxidasa) y el contenido mineral en frutos.

Parámetros Hortícolas

La altura final de planta se determinó midiendo con un cinta métrica escala 0 a 5 m desde la base del tallo hasta el ápice de la planta al final del ciclo. Se realizaron tres cortes, en 15 plantas de cada tratamiento para determinar el número de frutos por planta. El tamaño y el peso promedio de fruto se determinó tomando como muestra 3 frutos por planta. El rendimiento por planta se determinó con el peso del número total de frutos por planta, utilizando una balanza Ohaus modelo 3729 con capacidad máxima de 3000 gramos y resolución de 0.1 gramos.

Propiedades químicas de fruto

El contenido de vitamina C en fruto, se determinó por el método de titulación (Padayatt *et al.*, 2001). Se tomaron 10 g de muestra de fruto en fresco, se trituró juntamente con 10 ml de ácido clorhídrico 2 %, se filtró y se aforó a 100 ml con agua destilada en un matraz Erlenmeyer. Con 10 ml del diluido, se tituló con el 2,6 diclorofenolindofenol ($1 \times 10^{-3} \text{N}$) y se determinó el contenido de vitamina C con la fórmula:

$$\text{Vit. C (mg} \cdot 100 \text{ g de PF)} = \frac{(\text{ml de 2,6 diclorofenolindofenol})(0.088)(\text{volumen total})(100)}{(\text{volumen de la alicuota})(\text{peso de la muestra})}$$

El contenido de proteína en fruto, se determinó por el método Kjeldahl (A.O.A.C., 1980), el cual consiste en un proceso de digestión y destilación; un matraz Kjeldahl con 1.5 g de fruto seco y molido, una cucharada de mezcla catalítica (sulfato de potasio+sulfato de cobre), 25 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4 98 %), y cuatro perlas de vidrio, se coloca en una

estufa para la digestión hasta tener un líquido de color claro. La muestra digerida, mezclada con 250 ml de agua destilada, 110 ml de hidróxido de sodio (NaOH 45 %) y gránulos de Zinc, se destila; recibiendo el destilado en matraces con 50 ml de ácido bórico (H_3BO_3 4 %) y colorante mixto. El destilado colectado se titula con H_2SO_4 (0.1N) y se calculó el porcentaje de proteína en frutos mediante la fórmula:

$$Proteína = \left(\frac{[(v.acido)(N ac.) - (v.bco.)(N bco.)] \times 100}{g muestra fruto fresco} \right) \times 6.25, \text{ donde, } v.acido$$

es el volumen gastado de H_2SO_4 (0.1N) para titular la muestra, $N ac.$ y $N bco.$ es la normalidad del H_2SO_4 (0.1N), $v.bco.$ es el volumen gastado de H_2SO_4 (0.1N) para titular el blanco y 6.25 es el factor de conversión generalizado, en este caso para tomate de cáscara.

Para la determinación de la actividad enzimática catalasa (CAT), la extracción se realizó de 0.5 g de pulpa de tomate de cáscara en 5 ml de buffer de fosfatos 100 mM (pH 7), 50 mg de polivinilpirrodiona, en un mortero enfriado a 4 °C, se centrifugó a 183.3 Hz por 11 min a 4 °C. Del sobrenadante se obtuvo la enzima (Masia, 1998). Luego se prepararon 5 ml de la mezcla de reacción que contenía: 300 μ M de buffer fosfatos 100 mM (pH 6.8), 100 μ M de H_2O_2 y 1 ml de sobrenadante con la enzima diluido 1:20 (v/v). La mezcla de reacción se incubó por 1 min a temperatura constante de 25 °C, la reacción fue detenida al agregar 10 ml de H_2SO_4 al 2 % (v/v). El H_2O_2 residual se tituló con una solución de $KMnO_4$ (0.2 M) hasta obtener un color púrpura débil que resistió al menos 15 segundos. La actividad de la enzima se calculó con la fórmula: $CAT = \frac{(Vm - Vb)(N de KMnO_4)}{(m/v) * (a/V) * M}$, donde, Vm es

el volumen gastado de KMnO_4 para titular la muestra, V_b es el volumen gastado de KMnO_4 para titular el blanco, N de KMnO_4 es la normalidad de KMnO_4 , m son los gramos de pulpa de fruto, v es el volumen de dilución de la pulpa, a/V es la dilución de la enzima extraída (1:20) y M es el volumen de la mezcla de reacción.

La actividad enzimática peroxidasa (PX) se determinó de la siguiente manera, se homogenizaron 0.5 g de pulpa de tomate de cáscara con 5 ml de buffer fosfatos 100 mM (pH 6.8) en un mortero enfriado a 4 °C. Se centrifugó a 216.66 Hz por 15 min a 4 °C. El sobrenadante que contiene la enzima peroxidasa se preparó y diluyó en proporción 1:20 (v/v). La actividad enzimática se determinó con 125 μM de buffer fosfatos 100 mM (pH 6.8), 50 μM de pirogagol, 50 μM de H_2O_2 y 1 ml de extracto de enzima diluido 1:20 para obtener 5 ml de volumen. La mezcla de reacción se incubó por 1 min a 25 °C, se añadieron 0.5 ml de H_2SO_4 al 5 % (v/v) para detener la reacción. La concentración de purpurogalina se mide a 420 nm de absorbancia (A_{420}) (Kar y Mishra, 1976). La actividad de la enzima se calculó

con la formula:
$$PX = \frac{\text{unidad PX}}{(m/v) * (a/V) * M}$$
 donde, *unidad PX* es, por cada 0.1

absorbancia equivale a la unidad de peroxidasa, m son los gramos de pulpa de fruto, v es el volumen de dilución de la pulpa, a/V es la dilución de la enzima extraída (1:20) y M es el volumen de la mezcla de reacción.

El contenido de elementos minerales se determinó como sigue: El Nitrógeno (N) fue determinado en el mismo proceso en que se determinó

proteína, con el método de Kjeldahl (A. O. A. C., 1980), y se utilizó la fórmula:

$$N = \left(\frac{[(v.acido)(Nac.) - (v.bco)(Nbc.)] \times 100}{g \text{ muestra fruto fresco}} \right) \times 100, \text{ donde, } v.acido \text{ es el}$$

volumen gastado de H₂SO₄ (0.1N) para titular la muestra, *Nac.* y *Nbc.* es la normalidad del H₂SO₄ (0.1N), *v.bco.* es el volumen gastado de H₂SO₄ (0.1N) para titular el blanco. La determinación de Calcio (Ca), Sodio (Na), Potasio (K), Zinc (Zn), Cobre (Cu), Magnesio (Mg) y de Manganeso (Mn) se realizó por el método de absorción atómica (A. O. A. C., 1980), en la cual 1 g de fruto seco y molido se incinera. Un matraz con el incinerado junto con la mezcla perclórica (ácido nítrico y ácido perclórico 3:1 (v/v)) se coloca en una estufa para la digestión hasta obtener un líquido de color claro. El digerido se filtra (con papel filtro 42 sin cenizas) a un matraz y se afora a 100 ml con agua desionizada. Se toma lectura de las muestras en el espectrofotómetro de absorción atómica. El contenido para K, se determinó con la fórmula;

$$K_{ppm} = \frac{(lectura)(volumen \text{ dilución})(factor \text{ dilución})}{peso \text{ muestra}} \text{ y el resto de los}$$

minerales con la fórmula, $ppm = \frac{(lectura)(volumen \text{ dilución})}{peso \text{ muestra}}$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de Planta

La figura 1 muestra que Prohexadiona-Ca originó efectos significativos ($P \leq 0.05$) en la altura de planta de tomate de cáscara.

Los resultados ilustran que la aplicación de P-Ca redujo de forma significativa la altura de las plantas al compararse con las del testigo. Este efecto en la altura de planta, la cual disminuyó hasta un 19.84 por ciento, concuerda con lo reportado por Ramírez *et al.* (2006) en manzano “Golden Delicious”.

La reducción de altura de planta puede estar relacionado con un bloqueo por parte de P-Ca en la biosíntesis de las giberelinas A_1 , A_4 y A_7 biológicamente activas (Evans *et al.*, 1997) como lo ha reportado Ramírez *et al.* (2008).

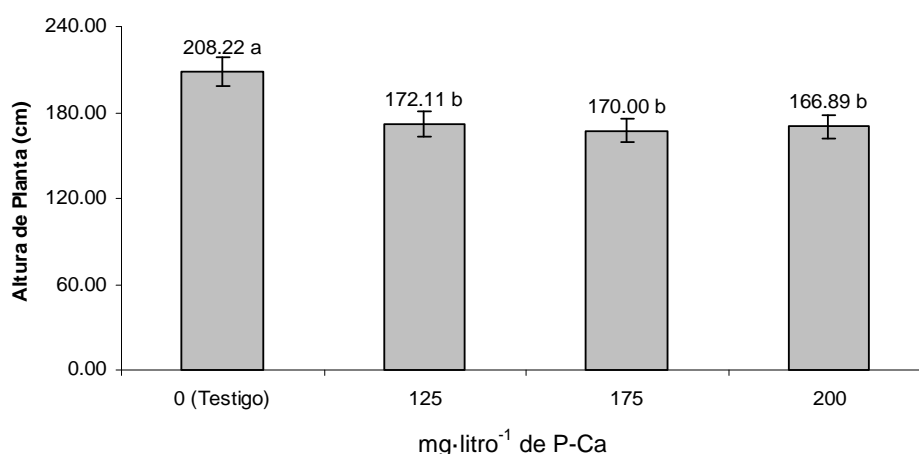


FIGURA 1. Efecto de Prohexadiona-Ca sobre la altura de plantas de tomate de cáscara “Rendidora”. Cada barra representa el promedio de 15 plantas \pm error estándar. Medias con la misma letra son iguales (DMS, $P \leq 0.05$).

Número de Frutos por Planta

Los efectos de la aplicación de Prohexadiona-Ca en el número de frutos por planta se muestran en el cuadro 2. Se observó que los tratamientos de 175 y 200 mg·litro⁻¹ mostraron un aumento significativo ($P \leq 0.05$) en frutos por planta, con incrementos del 26 y 60 por ciento respectivamente. Efectos similares se han observado en manzano (Ramírez *et al.*, 2006) y tomate “Saladette” (Ramírez *et al.*, 2005). En esta investigación se logró obtener tres cortes de tomate con una buena producción y calidad de fruto (Cuadro 2). El retardo temporal de crecimiento de planta, principal propiedad de la hormona P-Ca, beneficia al proceso de fructificación; así como el aceleramiento y aumento de yemas florales y amarre de fruto, debido a que la modificación en el flujo de fotoasimilados hacia tejidos meristemáticos favorece a esos procesos (Jackson y Looney, 2003; Pilatti, 1997; Sánchez, 2003).

Peso Promedio y Tamaño de Fruto

La aplicación de P-Ca no afectó el peso promedio de fruto. Con frecuencia se observa en manzano una reducción en el peso de frutos cuando se aplican retardantes de crecimiento como el Alar y P-Ca (Basak y Rademacher, 2000). Lo encontrado en este estudio resulta interesante, considerando que el peso del fruto no se afectó (cuadro 2). Resultados similares han sido reportados por Ramírez *et al.* (2005) en tomate “Saladette” y por Dayatilake *et al.* (2005) en manzano.

Prohexadiona-Ca aplicado a plantas de tomate de cáscara no afectó el tamaño de fruto (cuadro 2). De forma importante se observó un aumento en el número de frutos por planta sin afectar el tamaño de estos. Efectos similares reporta Dayatilake *et al.* (2005) en frutos de manzano al aplicar la P-Ca.

El hecho de no haberse reducido el tamaño y peso de los frutos con el P-Ca, representa un importante valor agregado en el producto cosechado. Este resultado se podría explicar con experiencias de otros autores como lo reportado por Ramírez *et al.* (2005), ellos encontraron que con la aplicación de P-Ca a plantas de tomate se aumentó significativamente el contenido de citocininas, las cuales junto con las auxinas presentes en semillas inmaduras de frutos jóvenes, influyen en la regulación de la división y alargamiento celular, y por lo tanto inductores del crecimiento y peso de fruto, como lo mencionan Raven *et al.* (1992). Con relación a lo anterior, Coletto (1995) menciona que después de la división celular inicia la acumulación de los fotosintatos y con ello el crecimiento y peso del fruto. Por lo tanto, es probable que la aplicación de P-Ca al reducir la demanda de asimilados y otras hormonas en tejidos de crecimiento apical, favoreciera el contenido de citocininas y la acumulación de fotosintatos en fruto, evitando con esto reducción de peso y tamaño en ellos a pesar de un mayor número por planta como resultado de la aplicación del retardante.

CUADRO 2. Efecto de Prohexadiona de Ca sobre parámetros productivos de tomate de cáscara “Rendidora”.

Tratamiento P-Ca	Frutos por planta ^v	Peso promedio por fruto (g) ^u	Tamaño promedio de fruto ^u	
			Diámetro P ^x (cm)	Diámetro E ^w (cm)
0 (testigo)	60.56 b ^z	33.72	3.53	4.20
125 mg·litro ⁻¹	67.06 b	35.52	3.47	4.18
175 mg·litro ⁻¹	76.67 ab	31.84	3.51	4.09
200 mg·litro ⁻¹	97.22 a	38.06	3.57	4.23
C.V. ^y %	16.64*	10.89 ^{NS}	2.49 ^{NS}	4.18 ^{NS}

^z valores con la misma letra son iguales estadísticamente por columna (DMS a una $P \leq 0.05$).

^{NS}, *; diferencias no significativas y significativas respectivamente, ^y coeficiente de variación.

^x diámetro polar, ^w diámetro ecuatorial.

^v cada valor representa el promedio de 15 plantas.

^u cada valor representa el promedio de 135 frutos.

Rendimiento por Planta

El rendimiento por planta se incrementó con Prohexadiona-Ca (figura 2). En el tratamiento de 200 mg·litro⁻¹ se observó una diferencia significativa ($P \leq 0.05$) ante el resto de los tratamientos, con un incremento de hasta un 83 por ciento en comparación con el testigo. En las dosis de 125 y 175 mg·litro⁻¹, aunque no significativo, se observó un 19 y 20 por ciento de aumento respectivamente. Estos incrementos en el rendimiento reflejan principalmente los efectos positivos en el mayor número de frutos con la aplicación de Prohexadiona-Ca (cuadro 1). Resultados similares se han obtenido en tomate “Saladette” al aplicar 175 y 200 mg·litro⁻¹ de P-Ca (Ramírez *et al.*, 2005) y en cultivos como manzano (Dayatilake *et al.*, 2005; Ramírez *et al.*, 2006) y pera (Costa *et al.*, 2004).

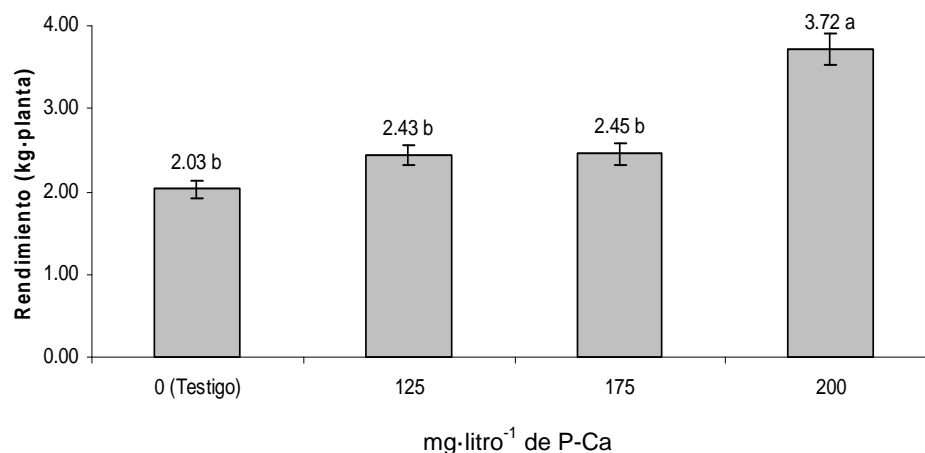


FIGURA 2. Efecto de Prohexadiona-Ca en el rendimiento por planta de tomate de cáscara “Rendidora”. Cada barra representa el promedio de 15 plantas \pm error estándar. Medias con la misma letra son iguales (DMS, $P \leq 0.05$).

Vitamina C

En la figura 3 se muestran los efectos de los tratamientos en los valores de la concentración de vitamina C en frutos de tomate de cáscara. Los resultados obtenidos muestran que los tratamientos con P-Ca incrementaron el contenido de vitamina C en comparación con el testigo. Frutos tratados con P-Ca a dosis de 175 y 200 mg-litro⁻¹ aumentaron de forma significativa ($P \leq 0.05$) el contenido del antioxidante con un 33 y 45 por ciento respectivamente. La vitamina C es un antioxidante importante como elemento nutritivo para la salud humana, se le atribuye el fortalecimiento del organismo en defensa a enfermedades cardiovasculares (Carr y Frei, 1999). El aumento significativo de la vitamina C como efecto de la aplicación del retardante de crecimiento vegetativo, se puede derivar quizás de un estímulo en la biosíntesis del ácido ascórbico sintetizado en base a la oxidación a través de la enzima oxidasa de ácido ascórbico como lo han sugerido

Chaudhary *et al.* (2006), y Melo y Cuamatzi (2007). Se han mostrado incrementos de vitamina C con la aplicación de retardantes de crecimiento como el paclobutrazol (Jamalian *et al.*, 2009), pero con la desventaja de que este persiste en la planta y produce efectos tóxicos en humanos, con lo que se prohíbe su uso en cultivos hortícolas (Owens y Stover, 1999). El retardante P-Ca no causa esos efectos adversos (Rademacher, 2004), por lo tanto, el aumento en el contenido de Vitamina C en frutos de tomate de cáscara, confirma la importancia de P-Ca como una alternativa en la tecnología aplicada a la horticultura moderna (Ramírez, 2003).

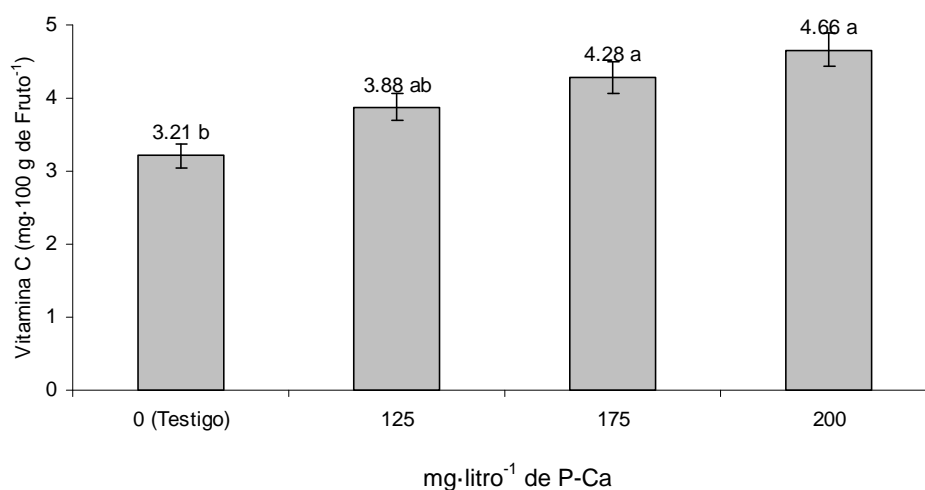


FIGURA 3. Efecto de Prohexadiona-Ca en el contenido de vitamina C en frutos de tomate de cáscara “Rendidora”. Cada barra representa el promedio de 15 frutos \pm error estándar. Medias con la misma letra son iguales (DMS, $P \leq 0.05$).

Proteína

Los resultados obtenidos mostraron que la aplicación de prohexadiona-ca no afectó el contenido de proteína en frutos. De forma interesante P-Ca mantiene los niveles de proteína (cuadro 3) con un

importante incremento en el número de frutos y rendimiento por planta, por lo que, probablemente el reducir el crecimiento vegetativo con P-Ca se reduce la competencia por el flujo de asimilados entre el proceso de fructificación y el de crecimiento vegetativo, beneficiándose con esto el desarrollo de frutos (Rademacher y Kober, 2003; Ramírez *et al.*, 2005). El retardante aplicado indujo que las plantas respondieran de forma suficiente en el abastecimiento de fotosintatos a frutos, los cuales son básicos en la síntesis de aminoácidos y péptidos utilizados en la síntesis de proteínas (Armstrong y Bennett, 1982). Las proteínas son macromoléculas que realizan una diversidad funcional mucho mayor que otras en el metabolismo de las plantas (Campbell y Farrel, 2004), por lo que, mantener los niveles de proteína resulta de gran importancia para no afectar los procesos metabólicos y con ello la producción y calidad de frutos.

CUADRO 3. Efecto de Prohexadiona de Ca en el contenido de proteína y peroxidasa en frutos de tomate de cáscara "Rendidora".

Tratamiento P-Ca	Proteína ^Y %	Actividad Peroxidasa ^Y (unidades·min ⁻¹ ·g ⁻¹)
0 (testigo)	12.66	19.48
125 mg·litro ⁻¹	11.12	24.71
175 mg·litro ⁻¹	12.06	18.73
200 mg·litro ⁻¹	11.84	24.29
C.V. ^Z %	5.32 ^{NS}	26.32 ^{NS}

^{NS} diferencias no significativa (DMS, $P \leq 0.05$)

^Z coeficiente de variación.

^Y cada valor representa el promedio de 15 frutos

Catalasa

La aplicación de prohexadiona-Ca a plantas de tomate de cáscara indujo efectos en la actividad enzimática catalasa en frutos en proceso de maduración.

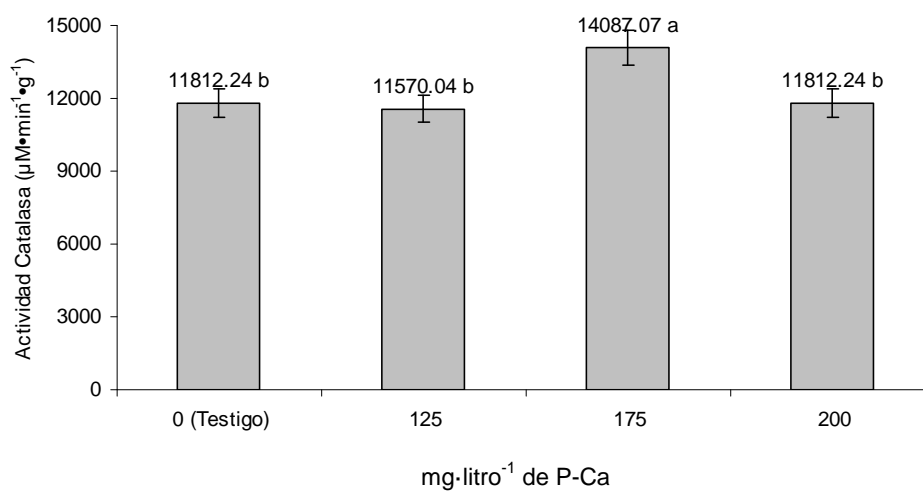


FIGURA 4. Efecto de Prohexadiona-Ca en el contenido de actividad enzimática catalasa en frutos de tomate de cáscara “Rendidora”. Cada barra representa el promedio de 15 frutos \pm error estándar. Medias con la misma letra son iguales (DMS, $P \leq 0.05$).

Con la aplicación de 175 mg·litro⁻¹ de P-Ca se manifestó un aumento significativo ($P \leq 0.05$) en la actividad enzimática catalasa. La figura 4 ilustra que al aumentar la dosis de P-Ca a 200 mg·litro⁻¹ el contenido de actividad catalasa no mostró diferencias significativas ante el testigo y es superada por el valor obtenido con la aplicación de 175 mg·litro⁻¹. Los resultados podrían reflejar un efecto de P-Ca en la actividad de catalasa como punto máximo de estímulo con la dosis de 175 mg·litro⁻¹. Los niveles de catalasa se relacionan con una mayor tolerancia al estrés oxidativo,

causado por factores ambientales como el frío (Jiménez *et al.*, 2002; Lafuente *et al.*, 2004) o patógenos (Beltrán *et al.*, 2006). En base a esas experiencias, es probable que el efecto de P-Ca pueda también mediar a través de una fortaleza adicional en el tejido en donde esté actuando el retardante del crecimiento (Fernando y Jones, 1999; Roemmelt *et al.*, 1999; Costa *et al.*, 2006; Rademacher *et al.*, 2006; Spinelli *et al.*, 2006; Greene, 2008).

Peroxidasa

Los resultados del análisis estadístico a datos del contenido de la actividad enzimática peroxidasa en frutos de tomate de cáscara (cuadro 3), no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos. La actividad de esta enzima está relacionada con la senescencia y daños oxidativos (Vicente *et al.*, 2006; Zhou *et al.*, 2003). La peroxidasa degrada el H₂O₂ con lo que se le considera una enzima antioxidante (Asada, 1997; Nakano y Asada, 1981). Incrementos en el contenido de peroxidasa se ha asociado al proceso de maduración (Alia *et al.*, 2002; Robinson, 1991). Los frutos analizados en este trabajo se tomaron en un estado de madurez comercial (fisiológicamente verdes), y no fisiológicamente maduros. Lo anterior, en base al atractivo que tiene esta hortaliza entre el consumidor en ese estadio y que es un fruto de tomate color verde y ácido. Esto, podría explicar la no significancia estadística entre los tratamientos.

Minerales en Fruto

No se observaron diferencias significativas en los niveles de nutrientes entre tratamientos (cuadro 4). Los resultados obtenidos muestran que la aplicación de prohexadiona-Ca no afectó el contenido mineral en frutos de tomate de cáscara "Rendidora". El flujo de minerales en plantas es variado y depende de la disponibilidad y demanda entre órganos de la planta y la etapa de desarrollo de la misma (Gutiérrez, 1997). Es posible que al reducirse el crecimiento vegetativo por la presencia de P-Ca en el tejido se modifique el patrón de traslocación de minerales y estos sean enviados en mayor proporción hacia los frutos en desarrollo y su distribución sea mas equitativa entre ellos; reflejándose esto en lo observado de no afectarse adversamente el contenido y los niveles de los mismos (Rademacher, 2004). Los elementos minerales, son necesarios para el metabolismo de la planta, cumplen funciones como constituyentes de moléculas orgánicas, en la reserva energética, de forma iónica y reacciones redox (Raven *et al.*, 1992). La deficiencia de minerales, se refleja principalmente en frutos, se induce desordenes fisiológicos que se traducen en bajas en el rendimiento, tamaño, peso, color, forma, sabor y calidad nutritiva en fruto (Mancera *et al.*, 2007; Martínez *et al.*, 2008), lo que demuestra la gran importancia de no afectar los niveles en el contenido mineral; a pesar de que son diversos los factores que pudieran influenciar en la absorción, movilidad y asimilación de los elementos minerales en la planta (Shaviv y Mikkelsen, 1993).

CUADRO 4. Efecto de Prohexadiona de Ca en el contenido mineral (N, Ca, Na, K, Zn, Cu, Mg y Mn) en frutos de tomate de cáscara “Rendidora”.

Tratamientos P-Ca	N ^Y %	Ca ^Y ppm	Na ^Y ppm	K ^Y ppm	Zn ^Y ppm	Cu ^Y ppm	Mg ^Y ppm	Mn ^Y ppm
0 (testigo)	2.02	241.94	227.98	4596.26	51.48	5.85	104.73	21.75
125 mg·litro ⁻¹	1.77	244.16	228.21	4437.34	51.06	5.66	105.78	23.86
175 mg·litro ⁻¹	1.93	255.65	222.53	4232.25	53.28	6.54	104.82	24.74
200 mg·litro ⁻¹	1.89	277.42	228.26	4290.18	60.29	6.21	103.95	30.74
C.V. ^Z %	5.32 ^{NS}	14.43 ^{NS}	6.14 ^{NS}	7.32 ^{NS}	8.19 ^{NS}	18.93 ^{NS}	0.79 ^{NS}	23.43 ^{NS}

^{NS} diferencias no significativas (DMS a una $P \leq 0.05$)

^Z coeficiente de variación.

^Y cada valor representa la media de 15 frutos.

CONCLUSIONES

Con base a los resultados obtenidos y bajo las condiciones en que se realizó el trabajo. La aplicación de prohexadiona-Ca (175 y 200 mg·litro⁻¹) a plantas de tomate de cáscara variedad Rendidora reduce la altura final de planta e incrementa el rendimiento, sin afectar el tamaño, peso, contenido de proteína, de peroxidasa y minerales en fruto. El contenido de vitamina C y la actividad catalasa se incrementa significativamente con la aplicación del retardante de crecimiento.

LITERATURA CITADA

- ALIA, I.; COLINAS, M. T.; MARTÍNEZ, M. T.; SOTO, M. R. 2002. Factores fisiológicos, bioquímicos y de calidad en frutos de zapote Mamey (*Pouteria sapota* Jacq. H.E. Moore & Stearn) durante poscosecha. *Chapingo Horticultura* 8(2): 263-281.
- A.O.A.C. 1980. Association of Official Agricultural Chemists. Official Methods of Analysis. Washington, D.C.
- ARMSTRONG, F. B.; BENNETT, T. P. 1982. Bioquímica. Traducido al español por CUCHILLO, C. Editorial Reverte. Barcelona, España. 522 p.
- ASADA, K. 1997. The role of ascorbate peroxidase and monodehydroascorbate reductase in H₂O₂ scavenging in plants. *In*: Oxidative stress and molecular biology of antioxidant defenses. SCANDALIOS, J. G. (ed). Cold Spring Harbor Laboratory Press. Plainview, New York, EE. UU. pp. 715-735.
- BASAK, A.; RADEMACHER, W. 2000. Growth regulation of pome and stone fruit trees by use of Prohexadione-Ca. *Acta Horticulturae* 514: 41-50.
- BELTRAN, M. J.; OGURA, T.; MANZO, G.; ARIAS, C. 2006. Catalasas de hongos fitopatogenos: ¿factores de virulencia y resistencia a los fungicidas? *Revista Mexicana de Fitopatología* 24(1): 50-58.
- CAMPBELL, M. K.; FARREL, S. O. 2004. Bioquímica. Cuarta edición. Traducido al español por AGUILAR, Q. M. T. Editorial Thomson. D.F., México. 812 p.

- CARR, A. C.; FREI, B. 1999. Toward a new recommended dietary allowance for vitamin C based on antioxidant and health effects in humans. *American Journal of Clinical Nutrition* 69(6): 1086-107.
- CHAUDHARY, B. R.; SHARMA, M. D.; SHAKYA, S. M.; GAUTAM, D. M. 2006. Effect of plant growth regulators on growth, yield and quality of chilli (*Capsicum annuum* L.) at Rampur, Chitwan. *Journal of the Institute of Agriculture and Animal Science* 27: 65-68.
- COLETO, J. M. 1995. *Crecimiento y Desarrollo de las Especies Frutales*. Segunda edición. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 168 p.
- COSTA, G.; ANDREOTTI, C.; SPINELLI, F.; RADEMACHER, W. 2006. Prohexadione-Ca: More than a growth regulator for pome fruit trees. *Acta Horticulturae* 727: 107-116.
- COSTA, G.; SABATINI, E.; SPINELLI, F.; ANDREOTTI, C.; BOMBEN, C.; VIZZOTO, G. 2004. Two years of application of prohexadione-ca on apple: Effect on vegetative and cropping performance, fruit quality, return bloom and residual effect. *Acta Horticulturae* 653: 35-40.
- DAYATILAKE, G. A.; WÜNSCHE, J. N.; WOOD, P.; MCARTHEY, S.; MANKTELOW, D.; LO, P.; GURNSEY, S.; TUSTIN, D. S. 2005. The use of prohexadione-ca for improved crop management. *Acta Horticulturae* 694: 315-319.
- EVANS, J. R.; ISHIDA, C. A.; REGUSCI, C. L.; RADEMACHER, W. 1997. Mode of action, metabolism and uptake of BAS-125W, prohexadione-calcium. *HortScience* 32: 558.

- FERNANDO, W. G. D.; JONES, A. L. 1999. Prohexadione calcium - a tool for reducing secondary fire blight infection. *Acta Horticulturae* 489: 597-600.
- GREENE, D. 2008. The effect of repeat annual applications of prohexadione-calcium on fruit set, returns bloom and fruit size of apples. *HortScience* 43: 376-379.
- GUTIÉRREZ, M. V. 1997. Nutrición mineral de las plantas: avances y aplicaciones. *Agronomía Costarricense* 21(1): 127-137.
- JACKSON, D. I.; LOONEY, N. E. 2003. Utilización de biorreguladores en fruticultura. *In: Producción de frutas de climas templados y subtropicales*. JACKSON, D. I. (ed). Ed. Acribia. Zaragoza, España. pp. 119-120.
- JAMALIAN, S.; TEHRANIFAR, A.; TAFAZOLI, E.; ESHGHI, S.; DAVARYNEJAD, G. H. 2009. Paclobutrazol can reduce the negative effects of salinity on reproductive growth, yield and fruit quality of strawberry plant. *Acta Horticulturae* 842: 825-828.
- JIMENEZ, A.; CREISSEN, G.; KULAR, B.; FIRMIN, J.; ROBINSON, S.; VERHOEYEN, M.; MULLINEAUX, P. 2002. Changes in oxidative processes and components of the antioxidant system during tomato fruit ripening. *Planta* 214(5): 751-758.
- KAR, M.; MISHRA, D. 1976. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. *Plant Physiology* 57(2): 315-319.
- LAFUENTE, M. T.; SALA, J. M.; ZACARIAS, L. 2004. Active oxygen detoxifying enzymes and phenylalanine ammonia-lyase in the

- ethylene-induced chilling tolerance in citrus fruit. *Journal Agriculture Food Chemistry* 52(11): 3606-3611.
- MANCERA, M. M.; SOTO J. M.; SÁNCHEZ, E.; YAÑEZ, R. M.; MONTES, F.; BALANDRAN, R. R. 2007. Caracterización mineral de manzana 'Red Delicious' y 'Golden Delicious' de dos países productores. *Tecnociencia Chihuahua* 1(2): 6-17.
- MARTINEZ, F. E.; SARMIENTO, J.; FISCHER, G.; JIMÉNEZ, F. 2008. Efecto de la deficiencia de N, P, K, Ca, Mg y B en componentes de producción y calidad de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Agronomía Colombiana* 26(3): 389-398.
- MASIA, A. 1998. Superoxide dismutase and catalase activities in apple fruit during ripening and post-harvest and with special reference to ethylene. *Physiology Plantarum* 104(4): 668-672.
- MELO, V.; CUAMATZI, O. 2007. Bioquímica de los procesos metabólicos. Segunda edición. Editorial Reverté. D.F., México. 406 p.
- NAKANO, Y.; ASADA, K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology* 22(5): 867-880.
- OWENS, L.; STOVER, E. 1999. Vegetative growth and flowering of young apple trees in response to prohexadiona-calcium. *HortScience* 34: 1194-1196.
- PADAYATT, S. J.; DARUWALA, R.; WANG, Y.; ECK, P. K.; SONG, J.; KOH, W. S.; LEVINE, M. 2001. Vitamin C: from molecular actions to optimum intake. *In: Handbook of Antioxidants*. CADENAS, E.;

- PACKER, L. (eds) 2nd edition. CRC Press. Washington DC, EE.UU. pp. 117-145.
- PEÑA, A. 2001. Situación actual y perspectivas de la producción y mejoramiento genético de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) en México. Primer Simposio Nacional. Técnicas modernas de producción de tomate, papa y otras solanáceas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. 10 p.
- PILATTI, R. A. 1997. Cultivo Bajo Invernaderos. Ed. Hemisferio Sur, S. A. Universidad Nacional del Litoral. Buenos Aires, Argentina. pp. 7-33.
- RADEMACHER, W. 2004. Chemical regulation of shoot growth in fruit trees. *Acta Horticulturae* 653: 29-32.
- RADEMACHER, W.; KOBER, L. 2003. Efficient use of prohexadione-ca in pome fruits. *European Journal of Horticultural Science* 68(3): 107.
- RADEMACHER, W.; SPINELLI, F.; COSTA, G. 2006. Prohexadione-ca: modes of action of a multifunctional plant bioregulator for fruit trees. *Acta Horticulturae* 727: 97-106.
- 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. pp. 1-22.
- 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.; PERALTA, R.; BENAVIDES, A.; SÁNCHEZ, A.; ROBLEDO, V.; HERNÁNDEZ, J. 2005. Efectos de prohexadiona-ca en tomate y

su relación con la variación de la concentración de giberelinas y citocininas. *Chapingo Horticultura* 11(2): 283-290.

RAMÍREZ, H.; HERRERA, B.; MÉNDEZ, Y. H.; BENAVIDES, A.; DE LA CRUZ, J. A.; ÁLVAREZ, V.; VILLAREAL, J. A. 2008. Prohexadiona de calcio disminuye el contenido de giberelinas endógenas en ápices de tomate Saladette y chile pimiento. *Chapingo Horticultura* 14(2): 193-198.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. 1992. *Biología de las plantas*. Volumen 2. Traducido al español por SANTAMARÍA, S.; LLORET, F.; MAS, M.; CARDONA, M. A. Editorial Reverté. Barcelona, España. 773 p.

ROBINSON, D. S. 1991. Peroxidases and catalases in foods. *In: Oxidative enzymes in foods*. ROBINSON, D. S.; ESKIN, N. A. (eds). Elsevier Applied Science. LTD. England. pp. 1-9.

ROEMMELT, S.; TREUTTER, D.; SPEAKMAN, J. B.; RADEMACHER, W. 1999. Effects of prohexadione-ca on the flavonoid metabolism of apple with respect to plant resistance against fire blight. *Acta Horticulturae* 489: 359-364.

ROJAS, M.; RAMÍREZ, H. 1993. *Control hormonal del desarrollo de las plantas*. Segunda Edición. Editorial Limusa. D.F., México. 239 p.

SANCHEZ, F. 2003. Obtención de plantas ornamentales compactas, mediante la aplicación de paclobutrazol y podas de formación. Resúmenes del X Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas, IX Congreso Nacional y II Internacional de Horticultura Ornamental. Chapingo, México. p. 169.

- SHAVIV, A.; MIKKELSEN, R. L. 1993. Controlled-release fertilizers to increase efficiency of nutrient use and minimize environmental degradation-a review. *Fertilizer Research* 35(1-2): 1-12.
- SISTEMA DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA (SIAP). 2009. Anuario estadístico de la producción agrícola 2008; Tomate verde. Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. México. Consulta 7 de Septiembre de 2009; www.siap.gob.mx
- SPINELLI, F.; COSTA, G.; SPEAKMAN, J. B.; RADEMACHER, W.; HALBWIRTH, H.; STICH, K. 2006. Prohexadione-calcium induces in apple the biosynthesis of luteoforol, a novel flavan 4-ol, which is active against *Erwinia amylovora*. *Acta Horticulturae* 704: 239-244.
- UNRATH, C. R. 1999. Prohexadione-Ca: A promising chemical for controlling vegetative growth of apples. *HortScience* 34: 1197-1200.
- VICENTE, A.; MARTÍNEZ, G.; CHAVES, A.; CIVELLO, P. 2006. Effect of heat treatment on strawberry fruit damage and oxidative metabolism during storage. *Postharvest Biology and Technology* 40(2): 116-122.
- ZHOU, Y.; DAHLER, J.M.; UNDERHILL, S. J. R.; WILLS, R.B.H. 2003. Enzymes associated with blackheart development in pineapple fruit. *Food Chemistry* 80(4): 565-572.

CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos y en las condiciones en que se realizó el trabajo, se concluye.

La aplicación de Prohexadiona-Ca (175 y 200 mg·litro⁻¹) a plantas de tomate de cáscara, reduce la altura final de planta e incrementa el rendimiento, sin afectar el tamaño y peso del fruto, incrementa el contenido de vitamina C y la actividad catalasa en fruto. Los niveles de proteína, peroxidasa y minerales no son afectados.

LITERATURA CITADA

- AGRONET. 2009. Tomatillo. Librería de cultivos, valle del fuerte, tomatillo. Consulta 7 de Septiembre de 2009. www.agronet.com.mx
- AMADO, C. 2009. Prohexadiona-Ca, AG3, ANOXA y BA modifican indicadores fisiológicos y bioquímicas en chile Mirador. Tesis Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 63 p.
- ANDREWS, P. K.; FAHY, D. A.; FOYER, C. H. 2004. Relationships between fruit exocarp antioxidants in the tomato (*Lycopersicon esculentum*) high pigment¹ mutant during development. *Physiology Plantarum* 120(4): 519-528.
- ARMSTRONG, F. B.; BENNETT, T. P. 1982. Bioquímica. Traducido al español por CUCHILLO, C. Editorial Reverte. Barcelona, España. 522 p.
- AYALA, M. 2005. Evaluación del estrés oxidativo en células hepáticas de rata durante un proceso de obstrucción biliar. Tesis Licenciatura. Universidad de las Américas Puebla. Puebla, México. pp. 3-11.
- BAI, S.; CHANEY, W.R.; QI, Y. 2004. Response of cambial and shoot growth in trees treated with paclobutrazol. *Journal of Arboriculture* 30:137-145.
- BELAKBIR, A. 1998. Yield and fruit quality of pepper (*Capsicum annuum* L.) in response to bioregulators. *HortScience* 33: 85-87.
- BELTRÁN, M. J.; OGURA, T.; MANZO, G.; ARIAS, C. 2006. Catalasas de hongos fitopatógenos: ¿Factores de virulencia y resistencia a los fungicidas? *Revista Mexicana de Fitopatología* 24 (1): 50-58.
- CAMPA, A. 1991. Biological roles of plant peroxidases: known and potential function. *In: Peroxidases in Chemistry and Biology*. EVERSE, J; EVERSE, K. E.; GRISHAM, M. B. (eds) CRC Press, Florida, EE.UU. pp. 25-50.
- CARR, A. C.; FREI, B. 1999. Toward a new recommended dietary allowance for vitamin C based on antioxidant and health effects in humans. *American Journal of Clinical Nutrition* 69(6): 1086-107.

- CHEN, Z.; YOUNG T. E.; LING, J.; CHANG, S.; GALLIE, D. R. 2003. Increasing vitamin C content of plants through enhanced ascorbate recycling. *PNAS* 100(6): 3525-3530.
- CORTÉS, J. J. 2009. Vitafort. Información técnica. Agrícola el Puma de Occidente S. A. de C. V. Jalisco, México. Consulta 27 de Octubre de 2009. <http://www.elpuma.com.mx>
- COSTA, G.; ANDREOTTI, C.; SPINELLI, F.; RADEMACHER, W. 2006. Prohexadione-Ca: More than a growth regulator for pome fruit trees. *Acta Horticulturae* 727: 107-116.
- DAVIS, T.D.; CURRY, E. A. 1991. Chemical regulation of vegetative growth. *Critical Review in Plant Sciences* 10:151-188.
- DING, C. K.; WANG, C.; GROSS, K. C.; SMITH, D. L. 2002. Jasmonate and salicylate induce the expression of pathogenesis-related-protein genes and increase resistance to chilling injury in tomato fruit. *Planta* 214(6): 895-901.
- EDREVA, A.; SALCHEVA, G.; GEORGIEVA, D. 1993. Stress damage is related to peroxidase induction in wheat plants. *In: WELINDER, K. G.; RASSMUSEN, S.; PENEL, K. C.; GREPPIN, H. (eds). Plant Peroxidases, Biochemistry and Physiology. University of Geneva. pp: 401-404.*
- EVANS, J. R.; ISHIDA, C. A.; REGUSCI, C. L.; RADEMACHER, W. 1999. Mode of action, metabolism and uptake of BAS-125W, Prohexadione-calcium. *HortScience* 34: 1200-1201.
- GÓMEZ, F.; VAUGHAN, D.; HERPPICH, W.; SMALLWOOD, M.; SOMMARIN, M.; GEKAS, V.; SJÖHOLM. 2004. Influence of cold acclimation on the mechanical strength of carrot (*Daucus carota* L.) tissue. *European Journal of Horticultural Science* 69: 229-234.
- GULEN, H.; ERIS, A. 2003. Some physiological changes in strawberry (*Fragaria X ananassa* 'Camarosa') plants under heat stress. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 78(6): 894-898.
- HANSBERG, W. 2002. Biología de las especies de oxígeno reactivas. Mensaje Bioquímico, Vol. XXVI. Departamento de Bioquímica, Facultad de Medicina. Universidad Autónoma de México. D.F., México.
- HEVIA, F.; BERTI, M.; WILCKENS, R.; YÉVENEVA, C. 2002. Contenido de proteína y algunas características del almidón en semillas de amaranto (*Amaranthus spp.*) cultivado en Chillan, Chile. *Agro sur* 30(1): 24-31.

- HEVIA, F.; WILCKENS, R.; BERTI, M.; BADILLA, R. 2001. Características de almidón y contenido de proteína quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) cultivada bajo diferentes niveles de nitrógeno en Chillan. *Agro Sur* 29(1): 42-50.
- KAMARA, K. A. 2001. Nutrición, regulación del crecimiento y desarrollo vegetal. Memoria del Primer Simposio Nacional de Horticultura. Saltillo, Coahuila, México. pp. 1-14.
- LAFUENTE, M. T.; SALA, J. M.; ZACARIAS, L. 2004. Active oxigen detoxifying enzymes and phenylalanine ammonia-lyase in the ethylene-induced chilling tolerance in citrus fruit. *Journal Agriculture Food Chemistry* 52(11): 3606-3611.
- LESTER, G. E.; JIFON, J. L.; ROGERS, G. 2005. Foliar-applied potassium: effects on muskmelon quality, sugar, ascorbic acid, and beta-carotene. *HortScience* 40: 1030.
- LIU, J.; YANG, Y.; ZOU, X. 1992. Effects of the content of dry matter, vitamin c, and capsaicin on the resistance to tmv, cmv, and anthracnose in *Capsicum annuum*. *HortScience* 27: 628-629.
- LÓPEZ, A. F. 2003. Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas. Del campo al mercado. Boletín de servicios agrícolas de la FAO 151. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Balcarce, Argentina. pp. 95-114.
- LORENCE, A.; CHEVONE, B. I.; MENDES, P.; NESSLER, C. L. 2004. *myo*-Inositol oxygenase offers a possible entry point into plant ascorbate biosynthesis. *Plant Physiology* 134: 1200–1205.
- MAKSIMOV, I. V.; CHEREPANOVA, E. A.; KHAIRULLIN, R. M. 2003. Chitin-specific peroxidases in plants. *Journal Biochemistry* 68(1): 111-115.
- MARTINEZ, F. E.; SARMIENTO, J.; FISCHER, G.; JIMÉNEZ, F. 2008. Efecto de la deficiencia de N, P, K, Ca, Mg y B en componentes de producción y calidad de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Agronomía Colombiana* 26(3): 389-398.
- McCLUSKEY, M. M.; PAPAROZZI, E. T.; ALBRECHT, J. A. 1993. The effect of various rates of n and s on the ascorbic acid content of leaf lettuce. *HortScience* 28: 507.
- McGILVERY, R. W. 1977. Conceptos bioquímicos. Traducido al español por ROSELL, M.; GARCÍA, F. Editorial Reverté. Barcelona, España. 594 p.

- MELO, V.; CUAMATZI, O. 2007. Bioquímica de los Procesos Metabólicos. Segunda edición. Editorial Reverté. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. D.F., México. 406 p.
- MENZEL, M. Y. 1951. The citotaxonomy and genetics of *Physalis*. Proceedings of the American Philosophical Society 95(2): 132-183.
- MONTES, H. S.; AGUIRRE, R. J. R. 2000. La agricultura en Mesoamérica; Tomate de cáscara (*Physalis philadelphica*). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Agrícolas y Pecuarias, Celaya, Guanajuato, México. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. Food and Agriculture Organization (FAO), Región America latina y el caribe. Consulta 5 de Mayo de 2008.
www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro09/home9.
- OWENS, L.; STOVER, E. 1999. Vegetative growth and flowering of young apple trees in response to prohexadione-calcium. HortScience 34(7): 1194-1196.
- PEÑA, A. 2001. Situación actual y perspectivas de la producción y mejoramiento genético de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) en México. Primer Simposio Nacional. Técnicas modernas de producción de tomate, papa y otras solanáceas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. 10 p.
- PREMUZIC, Z.; BARGIELA, M.; GRACÍA, A.; RENDINA, A.; IORIO, A. 1998. Calcium, iron, potassium, phosphorus, and vitamin C content of organic and hydroponic tomatoes. HortScience 33: 255-257.
- RADEMACHER, W. 1995. Growth retardants: biochemical features and applications in horticulture. Acta Horticulturae 394: 57-74.
- 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.
- 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. pp. 1-22.
- RAMÍREZ, H.; ALONSO, S.; BENAVIDES, A. 2006. Prohexadione-ca modifies growth and endogenous hormones en the shoot apex in apple trees. Acta Horticulturae 727: 117-123.
- RAMÍREZ, H.; HERRERA, B.; BENAVIDES, A.; MENDOZA, R.; RANCAÑO, J. H.; VILLAREAL, J. A. 2007. Prohexadione-Ca increases lycopene content and enzymatic activity during fruit ripening in tomato. International Plant Growth Substances Association. 19th Annual Meeting. Puerto Vallarta, México. p. 60.

- RAMÍREZ, H.; HERRERA, B.; MÉNDEZ, Y. H.; BENAVIDES, A.; DE LA CRUZ, J. A.; ÁLVAREZ, V.; RANCAÑO, J. H.; VILLAREAL, J. A. 2008. Prohexadiona de calcio disminuye el contenido de giberelinas endógenas en ápices de tomate Saladette y chile pimiento. *Chapingo Horticultura* 14(2): 193-198.
- RAMÍREZ, H.; PERALTA, R. M.; BENAVIDES, A.; SANCHEZ, A.; ROBLEDO, V.; HERNÁNDEZ, J. 2005. Efecto de prohexadiona-Ca en tomate y su relación con la variación de la concentración de giberelinas y citocininas. *Chapingo Horticultura* 11(2): 283-290.
- RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. 1992. *Biología de las plantas*. Tomo II. Traducido al español por SANTAMARÍA, S.; LORET, F.; MAS, M.; CARDONA, M. A. Editorial Reverté. Barcelona, España. 773 p.
- RETAMALES, J. 2007. Actualización en hormonas vegetales y reguladores de crecimiento: aspectos básicos y modos de acción. Resumen del taller de reguladores de crecimiento y bioestimulantes en cultivos extensivos. Mar del Plata, Argentina. pp. 1-2.
- REYES, M. I.; VILLEGAS, A.; TERESA, M.; CALDERÓN, G. 2000. Peso específico, contenido de proteína y de clorofila en hojas de naranja y tangerino. *Agrociencia* 34(1): 49-55.
- ROBINSON, D. S. 1991. Peroxidases and catalases in foods. *In: Oxidative enzymes in foods*. ROBINSON, D. S.; ESKIN, M. N. (eds). Elsevier Science Publishers LTD. England. pp. 1-9.
- ROJAS, M.; RAMÍREZ, H. 1996. Control hormonal de desarrollo de las plantas. Editorial Limusa. D.F., México. 239 p.
- SALA, J.; LAFUENTE, M. 2000. Catalase enzyme activity is related to tolerance of mandarin fruits to chilling. *Postharvest Biology and Technology* 20(1): 81-89.
- SALVADOR, L.; MIRANDA, S. P.; ARAGÓN, N.; LARA, V. 1999. Recubrimiento de quitosán en aguacate. *Journal of the Mexican Chemical Society* 43(1): 18-23.
- SÁNCHEZ, J. 2007. Fertilidad del suelo y nutrición mineral de plantas. Artículos, Fertilización Técnica S. A. Lima, Perú. Consulta 30 de Octubre de 2009. www.fertitec.com.
- SÁNCHEZ, L. 1984. La alimentación mineral de las plantas. Instituto de recursos naturales y agrobiología. Temas de divulgación. España. Ceresnet. Consulta 30 de Octubre de 2009. www.ceresnet.com
- SISTEMA DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA (SIAP). 2009a. Tomate verde. Agricultura, Monografías. Secretaria de

Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
Consulta 9 de Septiembre de 2009. www.siap.gob.mx

SISTEMA DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA (SIAP).
2009b. Producción agrícola; tomate de verde. Producción anual.
Cierre de la producción agrícola por cultivo. Secretaría de
Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
Consulta 7 de Septiembre de 2009. www.siap.gob.mx

SOLDINI, D. O.; SALINES, L. A.; HEREDIA, A. 2008. Fertilización y
contenido de proteína en soja. Proyectos regionales. Instituto de
Nacional de Tecnología Agropecuaria, Marcos Juárez. Buenos Aires,
Argentina. Consulta 30 de Octubre de 2009.
<http://www.inta.gov.ar/MJUAREZ>.

TATSUMI, Y.; ISOGAI, M.; SEI, S.; SRILAONG, V. 2006. Changes in
ascorbic acid content and ascorbate metabolism-related enzyme
activities during storage in cucumber (*Cucumis sativus* L.) and
balsam pear (*Momordica charantia* L.). *Acta Horticulturae* 712:755-
762.

VELASCO, V. A. 1999. Papel de la nutrición mineral en la tolerancia a las
enfermedades de las plantas. *Terra* 17(3): 193-200.

VORVICK, L.; ZIEVE, D. 2009. Vitamin-C. Health Library. Medical center.
University of Maryland Medical System. Maryland, EE. UU.
<http://www.umm.edu/altmed/articles/vitamin-c-000339.htm>.

YÁNEZ, R. J. N. 2002. Nutrición y regulación del crecimiento en hortalizas y
frutales. Memoria del 2° Simposio Nacional de Horticultura, Nutrición
de Cultivos Hortícolas. Saltillo, Coahuila. México. pp. 1-22.

WILSON, C. Y.; ZAVALETA, H. A.; LÓPEZ, H.; HERNÁNDEZ, A. 2008. La
citocinina BAP retrasa senescencia, aumenta antioxidantes, proteína
y crecimiento en el pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.). *Agrociencia*
42: 799-806.