

**PROHEXADIONA-CA MODIFICA EL FENOTIPO, NIVELES DE  
ANTIOXIDANTES Y ACTIVIDAD ENZIMÁTICA EN CHILE JALAPEÑO EN  
INVERNADERO**

**LINO JEREMIAS RAMÍREZ PÉREZ**

**TESIS**

Presentado como Requisito Parcial para  
Obtener el Grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2013

Universidad Autónoma Agraria

Antonio Narro

Subdirección de Posgrado

**PROHEXADIONA-CA MODIFICA EL FENOTIPO, NIVELES DE  
ANTIOXIDANTES Y ACTIVIDAD ENZIMÁTICA EN CHILE JALAPEÑO EN  
INVERNADERO**

TESIS POR  
LINO JEREMIAS RAMÍREZ PÉREZ

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:

  
\_\_\_\_\_

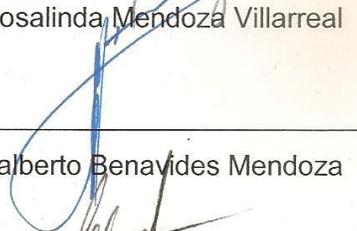
Dr. Homero Ramírez Rodríguez

Asesor:

  
\_\_\_\_\_

Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal

Asesor:

  
\_\_\_\_\_

Dr. Adalberto Benavides Mendoza

  
\_\_\_\_\_

Dr. Fernando Ruiz Zarate

Subdirector de Posgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila. Diciembre 2013

## INDICE DE CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTOS</b>	v
<b>DEDICATORIAS</b>	vii
<b>COMPENDIO</b>	viii
<b>ABSTRACT</b>	x
<b>INTRODUCCION</b>	1
Objetivos	3
Hipótesis	3
<b>REVISION DE LITERATURA</b>	4
Generalidades del cultivo de chile	4
Biorreguladores	5
Retardantes de crecimiento	6
Prohexadiona de calcio	7
Modo de acción de Prohexadiona de calcio	8
Metabolismo de Prohexadiona de calcio	9
Propiedades toxicológicas de P-Ca	9
Absorción y translocación de P-Ca	10
Antioxidantes	10
Capsaicina	11
Vitamina C	12
Carotenoides	13
Actividad Enzimática	15
<b>ARTÍCULO</b>	17
<b>CONCLUSIONES GENERALES</b>	41
<b>LITARATURA CITADA</b>	42

## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> Tasa de crecimiento de chile jalapeño hibrido Grande	28
<b>FIGURA 2.</b> Tasa de crecimiento de diámetro de tallo en plantas de chile jalapeño hibrido Grande	29
<b>FIGURA 3.</b> Influencia de prohexadiona de calcio en el contenido de capsaicina en frutos de chile jalapeño hibrido Grande.	31
<b>FIGURA 4.</b> Influencia de prohexadiona de calcio en el contenido de carotenoides totales en frutos de chile jalapeño hibrido Grande.	32
<b>FIGURA 5.</b> Influencia de prohexadiona de calcio en el contenido de Vitamina C en frutos de chile jalapeño hibrido Grande.	33
<b>FIGURA 6.</b> Influencia de prohexadiona de calcio en la actividad enzimática de catalasa en frutos de chile jalapeño Hibrido Grande.	35
<b>FIGURA 7.</b> Influencia de prohexadiona de calcio en la actividad enzimática de peroxidasa en frutos de chile jalapeño Hibrido Grande.	35

## INDICE DE CUADROS

<b>CUADRO 1.</b> Efecto de prohexadiona de calcio sobre el rendimiento y número de frutos en chile jalapeño híbrido Grande cultivado bajo condiciones de invernadero.	29
---	----

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi DIOS y mi ALMA TERRA MATER, por permitirme cursar un nivel más estudio en sus instalaciones y formar parte de los nuevos profesionistas que buscaremos una mejor forma de vida para la humanidad a través de la agricultura.

Al Dr. Homero Ramírez Rodríguez, por su excelente desempeño como Tutor y permitirme conocer el mundo de la investigación, por su dedicada orientación y apoyo invaluable en la realización de este trabajo, además por motivarme a seguir con mis estudios.

A la Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal, por motivarme a seguir con mis estudios de maestría y por su ayuda tan oportuna durante el trabajo de laboratorio, y lo más importante por su amistad brindada durante más de 2 años.

Al Dr. Adalberto Benavides Mendoza, por permitirme enriquecer mis conocimientos en el ramo hortícola al cursar las materias que imparte en el programa de MCH.

A los profesores del programa de maestría, que impartieron sus cursos con tanta motivación para el bien de mi formación profesional: al Dr. Luis A. Valdés Aguilar y Dr. Valentín Robledo Torres.

Al M. C. Antonio Juárez Maldonado, por su amistad y apoyo incondicional para la realización de este proyecto, ya que con sus consejos tan oportunos pude culminar satisfactoriamente este trabajo.

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

A la TLQ María Guadalupe Pérez Ovalle y a la TA Martina De La Cruz Casillas por su apoyo para la realización del trabajo de laboratorio.

Al Sensei Carlos Mata C., gracias por su apoyo y amistad

A mis amigos: Neymar, Fabián P., Maricarmen, Carlos A., Víctor Camacho, F. Martel, Noelia, Manuel y en especial de nuevo a mi compadre del alma Favian Cruz, gracias por su apoyo y amistad.

## DEDICATORIAS

*A mi Lucyta, persona a la que admiro y Amo con todo mi ser, dedico esta etapa de mi vida a tí, por ser tan especial, por tu apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos más difíciles. Gracias a tí he logrado ser una mejor persona. Y si dios me lo permite, me gustaría compartir todo el tiempo de vida a tu lado.*

*A mis padres, Agustina Pérez y Bruno Ramírez, por brindarme el don de la vida y por apoyarme en las etapas más difíciles de mi vida.*

*A todos mis hermanos, por motivarme a seguir con mis estudios.*

*A mis sobrinos (as), los exhorto a seguir estudiando con muchos ánimos, solo de esa manera podrán realizar sus sueños y alcanzar sus metas.*

*La ciencia es respecto del alma lo que la luz respecto de los ojos, y si las raíces son amargas, los frutos son muy dulces. Aristóteles (384 AC-322 AC) Filósofo griego.*

**COMPENDIO**

**PROHEXADIONA-CA MODIFICA EL FENOTIPO, NIVELES DE  
ANTIOXIDANTES Y ACTIVIDAD ENZIMÁTICA EN CHILE JALAPEÑO EN  
INVERNADERO**

**POR**

**LINO JEREMIAS RAMIREZ PÉREZ**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila. Diciembre del 2013**

**Dr. Homero Ramírez Rodríguez -Asesor-**

**Palabras clave adicionales:** *Capsicum annuum* L., retardante de crecimiento, antioxidantes, actividad enzimática.

La presente investigación se llevó a cabo durante el año 2012 con el objetivo de evaluar los efectos de P-Ca en el fenotipo y en la calidad de frutos en chile jalapeño híbrido Grande cultivado bajo condiciones de invernadero. Cuando las plantas alcanzaron 10 hojas verdaderas se realizó la primera aplicación de P-Ca en forma foliar. Los tratamientos fueron 0, 100, 200 y 300 mg·litro<sup>-1</sup> de P-Ca; y 15 días después, se realizó una segunda aplicación con las mismas dosis del retardante. Cada tratamiento se combinó con el surfactante líquido éter-nonifenol-polietilenglicol a una dosis de 1ml·litro<sup>-1</sup>. Las variables evaluadas fueron: Tasa de crecimiento de altura y diámetro de tallo; número de frutos y rendimiento por planta; se determinó el contenido de capsaicina, carotenoides, vitamina C y la actividad enzimática. Los resultados señalan que el P-Ca reduce significativamente la altura y diámetro final de tallo central de las plantas; así como el rendimiento. El P-Ca produjo frutos con incrementos significativos en capsaicina, carotenoides, vitamina C y actividad de catalasa y peroxidasa. Se considera que P-Ca tiene potencial para mejorar la calidad de chile jalapeño híbrido Grande.

**ABSTRACT**

**PROHEXADIONE-CA MODIFIES PHENOTYPE, ANTIOXIDANT LEVELS AND  
ENZYMATIC ACTIVITY IN JALAPEÑO PEPPER IN GREENHOUSE**

**BY**

**LINO JEREMIAS RAMÍREZ PÉREZ**

**MASTER OF SCIENCE IN HORTICULTURE  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila. December 2013**

**Dr. Homero Ramírez Rodríguez -Advisor-**

**Additional Keywords:** *Capsicum annuum* L., growth retardant, antioxidants,  
enzymatic activity.

The present investigation was conducted in 2012 to evaluate the effects of P-Ca on the phenotype and fruit quality on jalapeño pepper hybrid Grande. When seedlings had reached 10 true leaves, a first P-Ca foliar application was done. The treatments with P-Ca were 0, 100, 200 and 300 mg·litro<sup>-1</sup>; and 15 days later, a second P-Ca application was conducted at the same dosages. Each treatment was combined with the surfactant nonyl phenol polyethylene glycol ether at a dose of 1 ml·liter<sup>-1</sup>. The variables evaluated were: growth rate of height and stem diameter, number of fruits and yield per plant, content of capsaicin, carotenoids, vitamin C and the enzyme activity. The results show that P-Ca reduces final height and diameter of main stem; as well as yield. The P-Ca provoked fruits with significative increases in capsaicine, carotenoids, vitamin C and activity in catalase and peroxidase. It is concluded that P-Ca has a potential to improve fruit quality in jalapeño pepper hybrid Grande.

## INTRODUCCIÓN

La recomendación médica al consumo de frutas y hortalizas en la dieta alimenticia diaria se multiplica hoy en día exponencialmente y es un tema de gran importancia dentro de la calidad de vida y salud humana (Mc Cormick, 2012). La ciencia hortícola moderna investiga alternativas fisiológicas que permitan mejorar la producción y calidad de cultivos; en particular, en su contenido de minerales y antioxidantes por su aporte a la dieta y salud (Hewett *et al.*, 2012). Según la OMS, uno de los principales factores de riesgo de cáncer y enfermedades cardiovasculares es la dieta malsana (OMS, 2013). El cuerpo humano mediante su funcionamiento metabólico normal genera Especies Reactivas de Oxígeno (ROS, por sus siglas en inglés), las cuales al encontrarse en exceso pueden causar daños a macromoléculas biológicas como ADN, lípidos, carbohidratos y proteínas (Gomes *et al.*, 2010). Estos daños se han asociado al desarrollo de padecimientos como cáncer, enfermedades cardiovasculares, visuales y desordenes inmune y neurodegenerativos (Quiles *et al.*, 2006). Los antioxidantes presentes en frutas y verduras protegen la salud del cuerpo disminuyendo los efectos de ROS (Isabelle *et al.*, 2010), mediante la prevención del ataque de los radicales libres a las macromoléculas ya que tienen capacidad preferencial de oxidación. Estos compuestos antioxidantes pueden inhibir o retardar la oxidación de dos formas: captando radicales libres

(primarios) o por mecanismos que no estén relacionados con la captación de radicales libres (secundarios) (Floegel *et al.*, 2011). Entre los compuestos que pueden actuar como antioxidantes se encuentran vitaminas C y E, carotenoides, antocianinas, flavonoides y otros compuestos fenólicos (Lako *et al.*, 2007; Contreras *et al.*, 2011).

Una de las especies de mayor riqueza y biodiversidad en México es el chile (*Capsicum annuum*) (Hermosillo *et al.*, 2008). El género *Capsicum* tiene gran importancia económica nacional y mundial (Aktas *et al.*, 2009). Esta especie es cultivado para su consumo en fresco, seco y en productos procesados. Su fruto se caracteriza por la producción de capsaicinoides, de los cuales la capsaicina y la dihidrocapsaicina destacan por su efecto en la pungencia del mismo (Vázquez *et al.*, 2007; Rosa *et al.*, 2002; Díaz *et al.*, 2004). Contiene además, otros compuestos antioxidantes como la vitamina C, carotenoides y flavonoides los cuales se encuentran en el pericarpio del fruto.

Actualmente, a pesar de utilizarse sistemas altamente tecnificados para la producción de esta especie, la demanda del mercado exige mayor producción y de mejor calidad que influya sobre la salud alimentaria.

Los biorreguladores son sustancias que ofrecen una magnífica oportunidad para mejorar los sistemas de producción hortícola además de estar en armonía con el ambiente. Estas moléculas modifican temporalmente la acción génica de acuerdo a las necesidades del mercado (Ramírez *et al.*, 2010). La prohexadiona de calcio es un biorregulador que no causa efectos adversos en la salud humana. Esta hormona reduce el crecimiento vegetativo vía bloqueo de la biosíntesis de giberelinas biológicamente activas en plantas en cultivos como

manzano y tomate (Ramírez *et al.*, 2005). El conocimiento sobre la influencia de P-Ca en la fisiología vegetal de varios cultivos hortícolas permite considerar a este retardante de crecimiento como un biorregulador que puede contribuir a controlar el crecimiento vegetativo-reproductivo de especies como tomate y chile (Costa *et al.*, 2004; Ramírez *et al.*, 2005) y a mejorar la calidad de la fruta al aumentar los niveles de antioxidantes como capsaicina, vitamina C y licopeno (Ramírez *et al.*, 2010).

Por lo tanto, ante la necesidad de producir frutas y hortalizas con un alto contenido de antioxidantes se plantearon los siguientes objetivos.

### **OBJETIVO**

Evaluar la influencia de prohexadiona de calcio en chile jalapeño sobre:

La tasa de crecimiento en altura y diámetro de tallo, rendimiento, contenido de los antioxidantes: Capsaicina, vitamina C y carotenoides; y actividad de catalasa y peroxidasa.

### **HIPÓTESIS**

Prohexadiona de calcio modifica el fenotipo y bioquímica del fruto de chile jalapeño híbrido Grande.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Generalidades del cultivo de chile jalapeño

Dentro de la gran variedad de tipos de chile que se cultivan en México, el jalapeño es uno de los de mayor importancia económica por su amplio consumo, alta redituabilidad y gran demanda de mano de obra (Macias *et al.*, 2012). En México, la superficie cosechada es de 143,975 hectáreas con un rendimiento promedio de 16.2 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2012). El consumo *per capita* fluctúa entre 13-16 kg por año de chile jalapeño, siendo muy apreciado por su sabor característico conferido por los metabolitos que contiene, según lo describe Somos (1984), quien divide en dos grupos a los componentes principales que determinan el valor nutrimental del chile: El primero, fija el valor biológico, sabor específico, color y su uso como condimento. A este grupo pertenecen las vitaminas, los capsaicinoides, los flavonoides, los carotenos y varios aceites volátiles. El segundo enmarca a los azúcares, la fibra, las proteínas, los minerales y cierto tipo de ácidos orgánicos. Lo anterior ha sido constatado por Nuez *et al.* (2003).

La superficie mundial sembrada de chile asciende a 1.8 millones de hectáreas, con una producción de 26 millones de toneladas. Después de China, México es el segundo productor a escala mundial. De acuerdo a la producción obtenida en

toneladas, les siguen Indonesia, Turquía, Estados Unidos y España (FAOSTAT, 2012). Los principales estados productores de México están en el norte, entre Chihuahua, y Zacatecas mientras que en menor medida están Durango y Coahuila, que incluyen la Comarca Lagunera. En esta región, el cultivo de chile tiene gran importancia en la economía, especialmente el chile jalapeño, ya que es uno de los principales cultivos hortícolas que se siembra en la región después de la sandía, tomate y melón durante el ciclo primavera-verano. A nivel internacional México no es el productor más importante. Lo anterior refleja poca tecnología en algunas regiones del país como la falta de calidad en semilla y en el control de plagas, resultando con un producto de baja expectativa para los mercados más exigentes.

Recientemente se han encontrado sustancias que impactan directamente sobre las características que busca el consumidor; de estas resaltan los biorreguladores del crecimiento, que modifican temporalmente a nivel génico el fenotipo de los cultivos incrementado el rendimiento y la calidad de la fruta (Ramírez *et al.*, 2009).

## **Biorreguladores**

Los biorreguladores actúan modificando el crecimiento y desarrollo de las plantas a través de su acción sobre vías y procesos fisiológicos y bioquímicos específicos (Weaver, 1996; Jankiewicz, 2003). En la actualidad, las hormonas vegetales o biorreguladores ofrecen una magnífica oportunidad para mejorar los sistemas de producción hortícola. Estas sustancias son únicas en su

característica de ser absorbidas por el tejido vegetal y transportadas a un sitio de reacción antes de inducir un efecto deseado (Ramírez *et al.*, 2010). El medio ambiente juega también un papel muy importante ya que puede modificar la acción de las mismas. Normalmente sus efectos están regulados por los mecanismos internos que tienen las plantas. Estas hormonas son sintetizadas dentro de la célula en organelos como los cloroplastos y se translocan a otras regiones de la planta en donde ejercen su acción fisiológica (Yáñez, 2002).

### **Retardantes de crecimiento**

La aplicación de retardantes de crecimiento representa una herramienta de mucha utilidad en el manejo agronómico, más aún si se considera aumentar la densidad de población a fin de lograr mayores rendimientos en menor superficie y con mínimo efecto sobre el ambiente (Añez y España 2011).

Los retardantes de crecimiento actúan inhibiendo o promoviendo ciertos procesos en biosíntesis, transporte, percepción o transducción de señales relacionados con hormonas vegetales (Weaver, 1996; Jankiewicz, 2003). Estas sustancias reducen la división y elongación celular de los ápices, regulando de esta forma la altura de las plantas de manera fisiológica, sin provocar malformaciones en las hojas o los tallos (Rademacher, 2000). Existen productos que inhiben la biosíntesis de giberelinas, tales como daminozida, cloromequat y paclobutrazol (Rademacher *et al.*, 1998). Con el uso de esas sustancias, se ha demostrado que reducen la elongación del tallo y promueven la floración en manzano (Rademacher, 2000). Sin embargo, Owens y Stover (1999), refieren

que estos compuestos tienen la desventaja de su persistencia en el árbol y de producir efectos tóxicos en humanos, características que prohíben en la actualidad su uso en frutales y otros cultivos hortícolas. La utilización de retardantes de crecimiento favorece el cuajado de frutos, debido a que inhiben la biosíntesis de giberelinas. Los retardantes se deben aplicar a las hojas 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). Recientemente, se ha reportado a la Prohexadiona-Ca (P-Ca) como un retardante de crecimiento (Costa *et al.*, 2004). Su mecanismo de acción aún no es definido totalmente desde el punto de vista hormonal endógeno (Evans *et al.*, 1997).

### **Prohexadiona de Calcio**

La prohexadiona de calcio; Ca-(3-oxido-4-propionil-5-oxo-3 ciclo hexano carboxilato) es un retardante del crecimiento con baja toxicidad y limitada persistencia en el tejido vegetal (Rademacher, 2000). Evans *et al.*, (1999), reportaron que P-Ca tiende a aumentar los niveles de citocininas en tejidos como meristemas apicales y semillas inmaduras. Este efecto ha sido relacionado con el estímulo en la formación de flores y consecuentemente el rendimiento en diversas especies hortícolas (Treutter *et al.*, 2010; Ramírez *et al.*, 2009; Ramírez *et al.*, 2010). Los principales efectos de P-Ca en manzano son: a) reducción en la tasa de crecimiento de los brotes tiernos; b) retraso en las etapas de senescencia y maduración del fruto; c) incremento en el

porcentaje de amarre del fruto y d) reducción en la incidencia de la mancha del fuego producida por el hongo *Erwinia amylovora* (Kiesling *et al.*, 2007). El conocimiento sobre la influencia de P-Ca en la fisiología vegetal de varios cultivos hortícolas, permite considerar a este retardante de crecimiento como un biorregulador que puede contribuir a controlar el crecimiento vegetativo y reproductivo de varias especies hortícolas (Ramírez *et al.*, 2010).

### **Modo de acción de Prohexadiona de Calcio**

La P-Ca inhibe la biosíntesis de las giberelinas A<sub>1</sub>, A<sub>4</sub> y A<sub>7</sub> y consecuentemente reduce el crecimiento longitudinal de meristemos (Rademacher, 2004; Ramírez *et al.*, 2005). La estructura de P-Ca es similar a la del ácido 2-oxoglutárico que es un co-substrato de dioxidasas catalizando hidroxilaciones involucradas en reacciones químicas de la biosíntesis de giberelinas. El primer sitio de acción de la P-Ca parece ser la 3-β-hidroxilación, entre la reacción que estimula la formación de AG<sub>1</sub> como consecuencia, esta aplicación reduce los niveles de giberelinas activas y causa la acumulación de su inmediato precursor AG<sub>20</sub> inactiva (Evans *et al.*, 1999). Con relación a la dioxigenasa involucrada en el metabolismo de flavonoides, prohexadiona-ca es capaz de alterar el metabolismo de flavonoides, dando como resultado que las plantas tratadas sean capaces de volver a dirigir la acumulación de metabolitos hacia deoxiflavonoides inusuales que muestran propiedades similares a las fitoalexinas contra varios patógenos de plantas (Fisher *et al.*, 2006). El mecanismo de acción de P-Ca no se limita a una redirección de la vía de

biosíntesis natural que conduzca a la formación de flavanonas y active una vía alternativa para la producción de las deoxicatequinas. Esta perturbación aumenta la transcripción de la enzima fenilamonioliasa (PAL), punto clave en la formación de los metabolitos secundarios (Puhl *et al.*, 2008).

### **Metabolismo de P-Ca**

La P-Ca en las plantas, se degrada en pocas semanas. Después de la asimilación y del partimiento de su anillo, ocurre naturalmente el ácido propano 1, 2, 3-tricarboxílico (ácido tricarbárico), el cual es introducido al metabolismo de la planta (Evans *et al.*, 1999). En los suelos, el P-Ca se descompone principalmente en dióxido de carbono, con una media de vida de 7 días. En agua, el P-Ca se degrada por fotólisis a dióxido de carbono y otros productos naturales. En mamíferos, P-Ca es rápidamente absorbido y después excretado (Evans *et al.*, 1999).

### **Propiedades ecotoxicológicas**

La prohexadiona de calcio no es mutagénico, carcinogénico o teratogénico. P-Ca no tiene efectos negativos en pájaros, peces, abejas o en los microorganismos del suelo (Evans *et al.*, 1999).

## **Absorción y translocación de P-Ca**

La P-Ca es absorbida por el follaje. Para una máxima absorción requiere un mínimo de 8 horas, y es transportado acropétalmente a los puntos individuales de crecimiento (meristemas). Los movimientos basipétalos son mínimos. P-Ca no persiste en la planta (Evans *et al.*, 1999). Las propiedades conocidas actualmente de P-Ca, la ubican como un biorregulador joven de uso prometedor en la producción hortícola; por lo tanto, es necesario continuar evaluándolo y en forma simultánea investigar sobre su posible mecanismo de acción.

## **Antioxidantes**

En el mundo existe una tendencia hacia un mayor consumo de frutas y hortalizas, motivado por una creciente preocupación hacia una dieta más equilibrada y una mayor conciencia de la importancia de los hábitos nutricionales humanos en los problemas de salud y longevidad de las comunidades (Herrera *et al.*, 2009). En la actualidad, varios alimentos consumidos por el hombre, mayoritariamente contienen antioxidantes sintéticos. Esto demanda buscar alternativas de antioxidantes naturales (Monroy *et al.*, 2007). Para ello, una de las cualidades beneficiosas cada vez más valorada en las frutas y las hortalizas por los consumidores es su actividad o propiedades antioxidantes. Generalmente, un antioxidante se puede definir como aquella sustancia natural o artificial con capacidad para neutralizar y proteger a un sistemas biológico frente a radicales libres, tales como los radicales de oxígeno,

los de nitrógeno y los radicales lipídicos (Prior y Cao, 2000; Rosa *et al.*, 2002; Arnao y Cano, 2004). Los frutos de chiles son una buena fuente de antioxidantes como flavonoides, ácidos fenólicos, carotenoides, vitamina A, ácido ascórbico entre otros, y de otros componentes capsaicinoides entre los que destacan la capsaicina, dihydrocapsaicina y análogos (Rosa *et al.*, 2002). Los antioxidantes pueden actuar en los alimentos a través de diferentes mecanismos: Atrapan 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 (Eskin y Robinson, 2001).

### **Capsaicina**

Los chiles producen y acumulan compuestos conocidos como capsaicinoides los cuales son los responsables del sabor picante característico de estos frutos (Aza-González *et al.*, 2011). La capsaicina (Vanillilamida de 8-metil-trans-6-enoico) es el compuesto más abundante en el fruto de chile con un rango de 50 a 70% del total de los capsaicinoides presentes. Es una sustancia de naturaleza alcaloide, más concretamente se trata de un protoalcaloide (Alvarado *et al.*, 2006; Prasad *et al.*, 2006). Se sabe que la capsaicina no es un compuesto simple, sino que se trata de una mezcla de varias amidas, llamados capsaicinoides, siendo la capsaicina el más importante entre ellas. Se conoce que la capsaicina es sintetizada a través de una ruta mixta: a partir del ácido

shiquímico y el aminoácido valina y otra parte de la cadena a través de la vía de la síntesis de ácidos grasos (Díaz *et al.*, 2004; Vázquez-Flota *et al.*, 2007). El contenido de capsaicina es mayor en la placenta y en el septo, en donde representa un 2.5 % de la materia seca, mientras que el contenido medio en el fruto es de 0.6 %, en las semillas 0.7 % y en el pericarpio 0.03 % (Estrada *et al.*, 2001). Tiene amplias aplicaciones en los alimentos, medicinas y productos farmacéuticos. La aplicación de capsaicinoides en la medicina humana atribuye a su función antioxidante, anticancerígeno, antiartrítico, y propiedades analgésicos (Prasad *et al.*, 2006). El contenido de capsaicina depende de la variedad de chile, la edad del fruto y de factores ambientales (Cázares-Sánchez *et al.*, 2005; Sanatombi y Sharma, 2008; Morán- Bañuelos *et al.*, 2008). La formación de capsaicina es mayor a temperaturas de 30 °C (Díaz *et al.*, 2004; Vázquez-Flota *et al.*, 2007).

### **Vitamina C**

El ácido L-ascórbico es un compuesto abundante en los tejidos verdes, el cual depura al peróxido de hidrógeno en los cloroplastos y favorece la eficiencia fotosintética. Es esencial en los procesos metabólicos en el crecimiento y en la diferenciación floral (Foyer, 1993). Los chiles tienen mayor contenido de vitamina C que otras hortalizas y frutas reconocidas como fuentes de esta vitamina (Padayatt *et al.*, 2001). Además, contiene cantidades significativas de sales minerales, Ca, P, Fe, Na, K, Mg, y sustancias proteicas (Eugen *et al.*, 2008). En años recientes, ha sido considerado indispensable para el humano

por su característica de protección en aspectos clínicos como la prevención de cáncer y otras enfermedades (Cruz-Pérez *et al.*, 2007). Lo anterior es interesante debido a que la vitamina C sería un factor preventivo del cáncer por su capacidad de inhibir la síntesis de compuestos N-nitrosos en el estómago y estimular el sistema inmune (Byers y Perry, 1992). Las variaciones en los niveles de vitaminas se han atribuido a diferencias en cultivares, madurez del fruto, manejo agronómico de la planta y factores climáticos; incluso hay diferencias debidas al método analítico utilizado (Padayatt *et al.*, 2001).

### **Carotenoides**

Los carotenoides son pigmentos liposolubles naturales de color amarillo a rojo producidos por los organismos autótrofos (Farré *et al.*, 2010). Para el ser humano, estos pigmentos tienen aplicaciones importantes en la industria alimentaria y a nivel de salud (HarvestPlus, 2006). Estos son ampliamente utilizados como colorantes para alimentos, obteniéndose colores amarillo, anaranjado y rojo. A nivel de salud, el  $\alpha$  y  $\beta$ -caroteno se utilizan como fuente de vitamina A, además ayudan a prevenir distintas enfermedades (Deming *et al.*, 2002). Sin embargo, el ser humano no tiene la capacidad de sintetizar carotenoides, por tanto, la presencia de ellos en el organismo depende de la ingesta de alimentos con alto contenido de éstos (Rodríguez-Amaya y Kimura, 2004).

El consumo de una dieta abundante en carotenoides se puede correlacionar epidemiológicamente con un riesgo menor de padecer diversas enfermedades

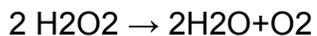
cardiovasculares, del cáncer de próstata y el tracto gastrointestinal, por que previenen la propagación de reacciones de oxidación asociadas a estas enfermedades (Vitale *et al.*, 2010). Entre las actividades biológicas que se le atribuyen a los carotenoides se encuentran su acción antioxidante, diferenciación celular, comunicación intercelular, inhibición de mutagénesis e intervención en la respuesta inmune (Deming *et al.*, 2002; Fernández-García *et al.*, 2012). Esto aunado a la distribución preferencial a determinados tejidos, permite el planteamiento de mecanismos biológicos por los cuales estos compuestos pueden disminuir el riesgo de enfermedades crónicas (Begoña *et al.*, 2001; Van Breda *et al.*, 2005; Paloza *et al.*, 2001).

Uno de los carotenoides de importancia en el Chile es el  $\beta$ -caroteno, una característica importante de su molécula es el sistema de dobles enlaces conjugados, responsables de la reactividad química, de la intensa absorción en la región visible, base para su identificación y cuantificación, dando como resultado colores como el amarillo, naranja y rojo. Su molécula es una estructura doble de retinol por lo que debería de dar lugar a dos moléculas de retinol (Rodríguez 2001), sin embargo, la disparidad entre su estructura química y su actividad biológica se debe, en parte, a la absorción incompleta y a la falta de estequiometría de la reacción, debido a la formación de metabolitos oxidados de retinol. Así, por ejemplo, se considera que 2 mg de  $\beta$ -caroteno en solución oleosa equivalen a 1 mg de retinol.

## Actividad Enzimática

Las enzimas antioxidantes son el principal sistema de defensa frente al daño oxidativo y se encarga de eliminar las especies reactivas de oxígeno, especialmente el radical superóxido y el peróxido de hidrógeno, para evitar que, a partir de estos, se generen otras especies más reactivas y peligrosas como el radical hidroxilo, el oxígeno singlete y el peroxinitrilo.

La catalasa es una enzima hemoproteica que cataliza la dismutación del peróxido de hidrógeno rompiéndolo directamente hasta oxígeno molecular y en agua, en ausencia de un sustrato adicional (Mathews *et al.*, 2002)



Esta enzima es un antioxidante fundamental y esencial, y al parecer no solo toma papel en la degradación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> endógeno peroxisomal, si no también extraperoxisomal (Wanders *et al.*, 2006; Shimozawa, 2007). Esta enzima puede distribuirse ampliamente en el organismo humano, alta concentración en hígado y riñón, baja concentración en tejido conectivo y epitelios, prácticamente nula en tejido nervioso y se localiza a nivel celular: mitocondrias, peroxisomas, citosol (eritrocitos); presenta 2 funciones fundamentales: catalítica y peroxidativa y forma parte del sistema antioxidante CAT/SOD que actúa en presencia de altas concentraciones de peróxido de hidrógeno (Venereo, 2002).

La peroxidasa (POX) pertenece al grupo de enzimas que integran el sistema antioxidante de las plantas superiores, los cuales son de naturaleza glicoproteica y se localizan principalmente en el citoplasma, la vacuola o en el apoplasto, asociadas a la pared celular (Mittler *et al.*, 2004). Las POX se

caracterizan por catalizar la reducción del peróxido de hidrógeno a agua, con la oxidación simultánea de co-sustratos no específicos, aunque son más frecuentes compuestos fenólicos (Silveira *et al.*, 2005).

Las peroxidasas de plantas superiores están implicadas en una gran variedad de procesos fisiológicos, a lo largo de todo el ciclo vital de la planta, desde el nacimiento a la senescencia, por ejemplo en el crecimiento, desarrollo y endurecimiento de la pared celular, en la lignificación y suberización, en el catabolismo de auxina y en la defensa frente al estrés oxidativo y el ataque de patógenos. Además de esta funcionalidad dentro de la planta, estas enzimas son utilizadas ampliamente por la industria, en la síntesis de polímeros orgánicos como polianilina (PANI), en la decoloración de tintes sintéticos, en la descontaminación y limpieza de aguas residuales y de suelos, en la síntesis de fármacos orgánicos con alto rendimiento, en electrodos enzimáticos, en kits de diagnóstico e inmunoensayos enzimáticos (Arellano *et. al.*, 2013)

**PROHEXADIONA-CA MODIFICA EL FENOTIPO, NIVELES DE  
ANTIOXIDANTES Y ACTIVIDAD ENZIMÁTICA EN CHILE JALAPEÑO EN  
INVERNADERO**

H. Ramírez<sup>1¶</sup>; L. J. Ramírez-Pérez<sup>1</sup>; A. Benavides-Mendoza<sup>1</sup>; R. Mendoza-Villarreal<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calz. Antonio Narro N°. 1923, Saltillo, Coahuila, C. P. 25315. MÉXICO.

Tel.: (844) 4110306. Correo-e: hrr\_homero@hotmail.com (¶Autor responsable).

**RESUMEN**

El uso de retardantes del crecimiento es una alternativa a considerarse en sistemas de producción en chile jalapeño (*Capsicum annum* L.) bajo invernadero; especialmente, cuando se busca producir frutos con mejor calidad alimenticia. Prohexadiona de calcio (P-Ca) es un biorregulador que además de reducir el crecimiento vegetativo en frutales, provoca la formación de frutos con mayor contenido de antioxidantes; el efecto de P-Ca en chile jalapeño es poco conocido. Por consiguiente, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de P-Ca en el fenotipo y en la calidad de frutos en chile jalapeño híbrido Grande cultivado bajo condiciones de invernadero. Cuando las plantas alcanzaron 10 hojas verdaderas se realizó la primera aplicación de P-Ca en forma foliar. Los

tratamientos fueron 0, 100, 200 y 300 mg·litro<sup>-1</sup> de P-Ca; y 15 días después, se realizó una segunda aplicación con las mismas dosis del retardante. Los resultados señalan que el P-Ca reduce la altura y diámetro final de tallo central de las plantas; así como el rendimiento. El P-Ca produjo frutos con incrementos significativos en capsaicina, carotenoides, vitamina C y actividad de catalasa y peroxidasa. Se considera que P-Ca tiene potencial para mejorar la calidad de chile jalapeño híbrido Grande.

**Palabras Clave:** *Capsicum annum* L., hormona, capsaicina, carotenoides, catalasa, peroxidasa.

## **PROHEXADIONE-CA MODIFIES PHENOTYPE, ANTIOXIDANT LEVELS AND ENZYMATIC ACTIVITY IN JALAPEÑO PEPPER IN GREENHOUSE**

### **ABSTRACT**

The use of growth retardants is a good production system alternative for jalapeño pepper (*Capsicum annum* L.) grown in greenhouse; particularly when high antioxidants fruit content is the goal. Prohexadione calcium (P-Ca) is a bioregulator which reduces vegetative growth and increases antioxidants in fruit species; the effect of P-Ca in jalapeño pepper is little known. Therefore, the

objective of this study was to evaluate the effect of P-Ca on the phenotype and fruit quality on jalapeño pepper hybrid Grande. When seedlings had reached 10 true leaves, a first P-Ca foliar application was done. The treatments with P-Ca were 0, 100, 200 and 300 mg·litro<sup>-1</sup>; and 15 days later, a second P-Ca application was conducted at the same dosages. The results show that P-Ca reduces final height and diameter of main stem; as well as yield. The P-Ca provoked fruits with significative increases in capsaicine, carotenoids, vitamin C and activity in catalase and peroxidase. It is concluded that P-Ca has a potential to improve fruit quality in jalapeño pepper hybrid Grande.

**Key Words:** *Capsicum annum* L., hormones, capsaicin, carotenoids, catalase, peroxidase.

## INTRODUCCIÓN

La recomendación médica al consumo de frutas y hortalizas en la dieta alimenticia diaria se multiplica hoy en día exponencialmente y es un tema de gran importancia dentro de la calidad de vida y salud humana (Mc Cormick, 2012). La ciencia hortícola moderna investiga alternativas fisiológicas que permitan mejorar la producción y calidad de cultivos; en particular, en su contenido de minerales y antioxidantes por su aporte a la dieta y salud (Hewett *et al.*, 2012).

La capsaicina y la vitamina C son sustancias naturales que aportan calidad a la dieta alimenticia; además de contribuir como protectores en la salud del consumidor (Tosun y Ustun, 2003). En años recientes se investiga en frutos hortícolas la presencia de otros compuestos con valor fisiológico, donde destacan los carotenoides y la actividad enzimática. Estos compuestos al igual que la capsaicina y vitamina C contribuyen a proteger a las células de los radicales libres (Molina *et al.*, 2010).

Estudios epidemiológicos indican que las dietas ricas en carotenoides están relacionadas con la disminución del riesgo a desarrollar ciertos tipos de cáncer, enfermedades del corazón y otras enfermedades humanas. Kopsell (2006), sostiene que los carotenoides pueden inhibir la proliferación y transformación celular, así como, la expresión modulada de genes determinantes en la prevención de ciertos tipos de cáncer y linfomas. El ser humano no puede sintetizar carotenoides, por lo tanto, depende de la dieta alimentaria para obtener niveles suficientes de los mismos. Las frutas y verduras son la fuente primaria de carotenoides en la dieta humana y su composición ha sido asociada con beneficios a la salud (Mc Cormick, 2012).

Los biorreguladores son evidentes alternativas utilizadas en la agricultura contemporánea para modificar temporalmente la acción de genes en plantas vegetales; lo que permite generar productos hortícolas que reúnan las características que demande el mercado (Rademacher, 2000). La gran mayoría de los biorreguladores empleados en la producción de alimentos son amigables con el medio ambiente (Ramírez *et al.*, 2010). P-Ca es un retardante del crecimiento prometedor para la horticultura moderna. Este compuesto ha

mostrado un mejoramiento substancial en producción y calidad de frutos en diversas especies frutales caducifolias (Costa *et al.*, 2004). La experiencia relacionada al impacto de prácticas hortícolas que modifiquen los niveles de antioxidantes en las plantas es escasa. Asami *et al.* (2003) reportaron que el incremento en los niveles de antioxidantes en frutas y hortalizas es un tema de gran interés y representa una oportunidad en la estrategia actual dirigida al mejoramiento de la calidad de productos hortícolas. Por consiguiente el objetivo de este trabajo fue el evaluar el efecto de prohexadiona de calcio sobre el fenotipo de planta y el contenido de carotenoides, capsaicina, vitamina C, y actividad enzimática en frutos de chile jalapeño híbrido Grande.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El experimento se estableció en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Saltillo, Coahuila, México, en invernadero tipo cenital de estructura metálica con láminas laterales de policarbonato y plástico blanco lechoso (calibre 720) en el techo, localizado a 25° 23' LN y 101° 01' LO, con una altitud de 1743 m. Se utilizó semilla de chile jalapeño híbrido Grande. Las semillas fueron sembradas el día 15 de abril de 2012 en charolas de poliestireno de 200 cavidades, utilizando peat moss premier mix como sustrato. El trasplante se realizó el 15 de mayo de 2012, en el invernadero, cuando las plantas presentaron una altura de 15 cm. Lo anterior se realizó en macetas de 20 litros, se utilizó sustrato peat moss y perlita (50:50 v/v). Las macetas fueron

ordenadas a una distancia de 40 cm entre plantas y 80 cm entre hileras. Cuando las plantas presentaron 10 hojas verdaderas se realizó la primera aplicación de P-Ca en forma foliar. Las dosis de los tratamientos con el retardante fueron 0, 100, 200 y 300 mg·litro<sup>-1</sup>; y 15 días después, se realizó una segunda aplicación con las mismas dosis del biorregulador. Cada tratamiento con P-Ca se combinó con el surfactante líquido éter-nonifenol-polietilenglicol a una dosis de 1 ml·litro<sup>-1</sup>. Las variables evaluadas fueron tasa de crecimiento de altura y diámetro de tallo, número de frutos y rendimiento por planta; contenido de capsaicina, carotenoides, vitamina C y actividad de catalasa y peroxidasa en frutos maduros. Se utilizó un diseño estadístico completamente al azar con 10 repeticiones por tratamiento para las variables fenotípicas; mientras que para las variables de calidad de fruto, se utilizaron cuatro repeticiones por tratamiento. Los resultados obtenidos fueron analizados con el programa estadístico SAS versión 9.1 (Anónimo, 2009), para obtener el análisis de varianza y comparación de medias mediante Tukey ( $P \geq 0.05$ ).

## **Parámetros hortícolas**

### Tasa de crecimiento de tallo

A partir de la aplicación del P-Ca y hasta el final del ciclo biológico se evaluó semanalmente la altura de la planta, midiendo desde la base del tallo (nivel del sustrato) hasta el meristemo apical utilizando una cinta métrica escala 0 a 2 m.

### Tasa de crecimiento de diámetro de tallo

Esta variable se midió semanalmente utilizando un vernier manual con una escala de 0 a 10 cm.

### Número de frutos y rendimiento

Para evaluar el efecto de P-Ca, al momento de cada uno de los siete cortes efectuados (tres a cuatro meses después del trasplante), los frutos fueron contados y el total pesado en una balanza portátil Ohaus modelo SP602, capacidad 600 g con aproximación de 0.1 g. Al final se sumaron los registros de esos datos.

## **Antioxidantes**

### Contenido de capsaicina

Se determinó siguiendo el método propuesto por Bennet y Kirby (1968). Se tomaron 10 frutos cosechados, se liofilizaron y maceraron en mortero. Se pesó 1 g de muestra y se le agregaron 10 ml de etanol absoluto y se agitó la mezcla por 15 min. Se filtró con papel Whatman No. 1 y luego se aforó a 25 ml con etanol. La muestra se trasladó a un embudo de separación y se agregaron 2.5 ml de solución amortiguadora a pH de 2.8 más 0.5 ml de etanol, 20.5 ml de

agua destilada y 10 ml de solución Adogen-Tolueno. Se agitó vigorosamente la mezcla por 1 min. Posteriormente, se determinó la absorbancia de la capsaicina en la fase orgánica en un espectrofotómetro (Thermo Electron Corporation Biomate 5) a una longitud de onda de 286 nm. Las lecturas se realizaron por triplicado para cada muestra. Para determinar la concentración de capsaicina en las muestras, se construyó una curva de calibración con este antioxidante (Sigma, Co) en un intervalo de 0-0.40 mg·ml<sup>-1</sup>, disuelta en los disolventes referidos.

#### Contenido de carotenoides totales

Se realizó utilizando la técnica descrita por Tomas (1975), con algunas modificaciones. Se pesaron 10 g de fruto fresco y se agregó 50 ml de acetona y se dejó 24 h en refrigeración. En un mortero se trituró y el líquido se filtró en una gasa a través de un embudo de separación. Se le adicionó 20 ml de éter de petróleo y 100 ml de agua destilada, al separar la capa contenedora de los carotenoides se le adicionó 10 ml de NaOH al 40 %. Posteriormente se agregó 20 ml de sulfato de sodio al 10 %. La mezcla se filtró a través de una gasa que contenía sodio anhidro y se tomó el volumen final de la solución. Se determinó la absorbancia de carotenoides en un espectrofotómetro (Thermo Electron Corporation Biomate 5) a una longitud de onda de 454 nm. El contenido de carotenoides totales se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$\mu\text{g Carotenoides} / 100 \text{ g fruto} = \% \text{Abs} \times 3.857 \times V \times 100 / P$$

Dónde: % Abs = por ciento de absorbancia, V = volumen medido de la probeta, y P = peso de la muestra en gramos

### Contenido de vitamina C

Se determinó siguiendo la metodología reportada por Padayatt *et al.* (2001). Se pesaron 20 g de peso fresco de fruto de y se colocaron en un mortero, se trituró con 10 ml de ácido clorhídrico al 2 % (v/v). 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 del sobrenadante y se titularon con 2,6-diclorofenolindofenol ( $1 \times 10^{-3}$  N), cuando la solución alcanzó un color rosa. El contenido de vitamina C se determinó utilizando la siguiente fórmula descrita por los autores del método referido:

$$\text{Vitamina C (mg} \cdot 100 \text{ g PF)} = \frac{(\text{ml utilizados de 2,6 diclorofenolindofenol} \times 0.088 \times \text{volumen total} \times 100)}{(\text{volumen de la alícuota} \times \text{peso de la muestra})}$$

### **Actividad enzimática**

Para el análisis enzimático se utilizó 0.5 g de pericarpio. El tejido se maceró con nitrógeno líquido y se extrajo en proporción 1:1 con el amortiguador HEPES-KOH 100 mM pH 7.5 (López-Delgado *et al.*, 1998). La proteína soluble se aisló por centrifuga a 11,000 g por 10 min a 4 °C. La fracción sobrenadante se usó

para cuantificar el contenido de proteína y la actividad enzimática en espectrofotómetro (Thermo Electron Corporation Genesys 10 uv).

La actividad de catalasa se cuantificó utilizando el método modificado por Masia (1998). Se preparó una mezcla de reacción conteniendo: amortiguador de fosfato de potasio y sodio 100 mM pH 7, 20  $\mu$ l del extracto de proteína y 30 mM  $H_2O_2$  en un volumen total final de 5 ml. El consumo de  $H_2O_2$  se midió por su decremento a  $A_{240}$  ( $P \leq 39.9 \text{ mM} \cdot \text{cm}^{-1}$ ) en intervalos de 25 s durante 3 min.

La actividad de peroxidasa se midió con la técnica modificada por Kar y Mishra (1976). La mezcla de reacción incluyó amortiguador de fosfato de sodio 50 mM pH 7.0, 3.33 Mm de guaiacol (sustrato), 5 mM de  $H_2O_2$  y 20  $\mu$ l de la muestra en un volumen final de 5 ml; la reacción se llevó a cabo a 26-28 °C. La oxidación del sustrato se determinó por el incremento en la absorción a  $A_{470}$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Tasa de crecimiento

La prohexadiona de calcio redujo significativamente ( $P \leq 0.05$ ) la tasa de crecimiento en altura (Figura 1) y diámetro (Figura 2) del tallo. Este patrón se observó a partir de la segunda semana en cualquier tratamiento con P-Ca y permaneció hasta el final del ciclo vegetativo. El efecto observado con P-Ca sobre la reducción en la altura de las plantas concuerda con lo reportado en

chile mirador (Ramírez *et al.*, 2010) y en okra (Ilias *et al.*, 2007). Esta reducción en altura, está relacionada directamente con un bloqueo por parte de P-Ca en el ápice, de la biosíntesis de las giberelinas biológicamente activas A<sub>1</sub>, A<sub>4</sub>, y A<sub>7</sub> (Rademacher, 2000). Con frecuencia se observa en otras especies hortícolas tratadas con P-Ca una restauración en el crecimiento del tallo principal en la última etapa de crecimiento, misma que se relaciona con el retorno de la síntesis de las giberelinas referidas (Rademacher, 2004).

### **Número de frutos y rendimiento**

El número de frutos y rendimiento por planta fueron menores ( $P \leq 0.05$ ) en los tratamientos con P-Ca respecto al testigo (Cuadro 1). Este comportamiento también fue observado por Lo Giudice *et al.* (2004) en uva. La diferencia en los tratamientos con P-Ca puede ser atribuida a la drástica reducción en el crecimiento vegetativo que se mantuvo durante el ciclo biológico de la planta (Figuras 1 y 2), originando una disminución en longitud de ramas y por ende menor superficie para la formación de yemas florales y posteriormente de frutos.

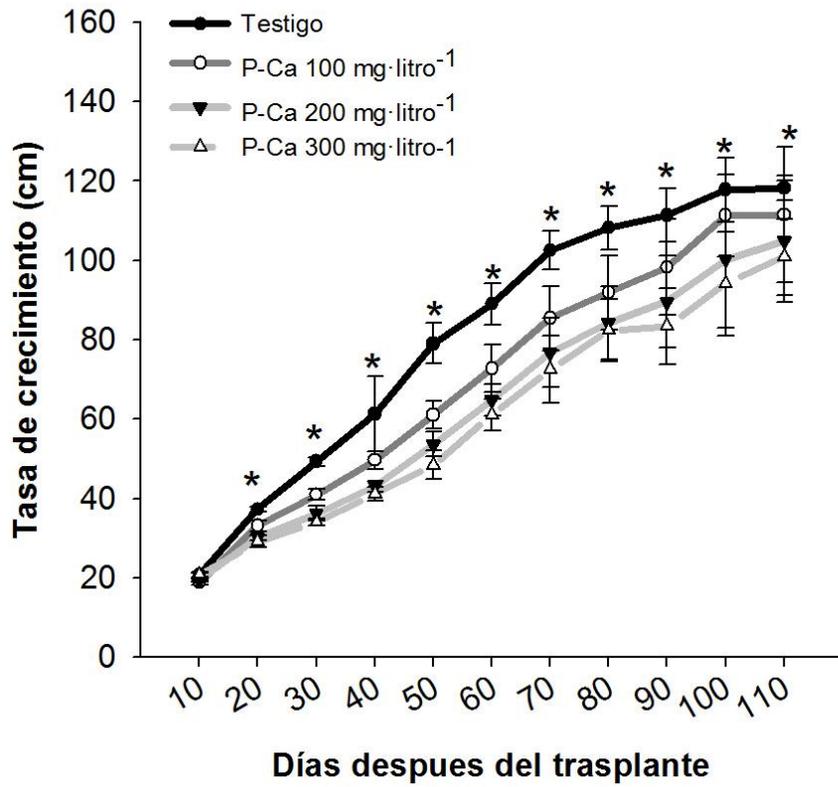


FIGURA 1. Tasa de crecimiento de chile jalapeño híbrido Grande después de ser tratado con P-Ca. Cada punto representa el promedio de diez repeticiones  $\pm$  error estándar. \*indica diferencia estadísticamente significativa (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

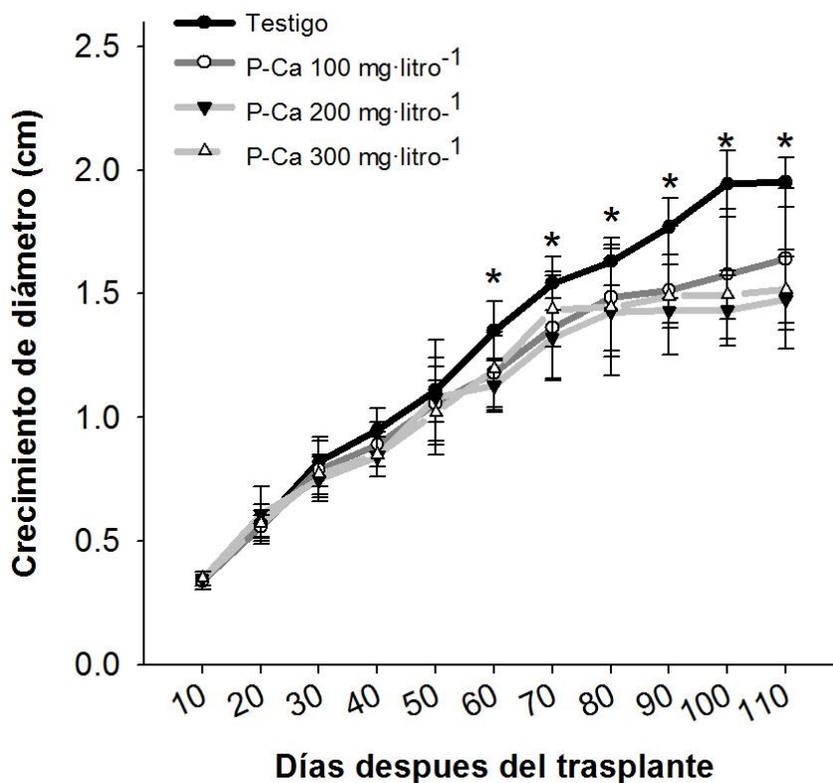


FIGURA 2. Tasa de crecimiento de diámetro de tallo en plantas de chile jalapeño híbrido Grande después de ser tratado con P-Ca. Cada punto representa el promedio de diez repeticiones  $\pm$  error estándar. \*indica diferencia estadísticamente significativa (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

CUADRO 1. Efecto de prohexadiona de calcio sobre el rendimiento y número de frutos en chile jalapeño híbrido Grande cultivado bajo condiciones de invernadero.

Tratamiento	Frutos/planta <sup>y</sup>	Rendimiento/planta (g)
Testigo	66.6 a <sup>z</sup>	1530.28 a
100 mg · litro <sup>-1</sup> de P-Ca	48.4 b	1019.95 b
200 mg · litro <sup>-1</sup> de P-Ca	42.4 b	836.41 b
300 mg · litro <sup>-1</sup> de P-Ca	47.9 b	860.98 b
C.V %	20.2*	17.1*

\*: significativo a una  $P \leq 0.05$ ; C.V.: coeficiente de variación

<sup>z</sup> Medias con la misma letra, dentro de las columnas, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una  $P \geq 0.05$ .

<sup>y</sup> cada valor representa el promedio de 10 plantas

## **Antioxidantes**

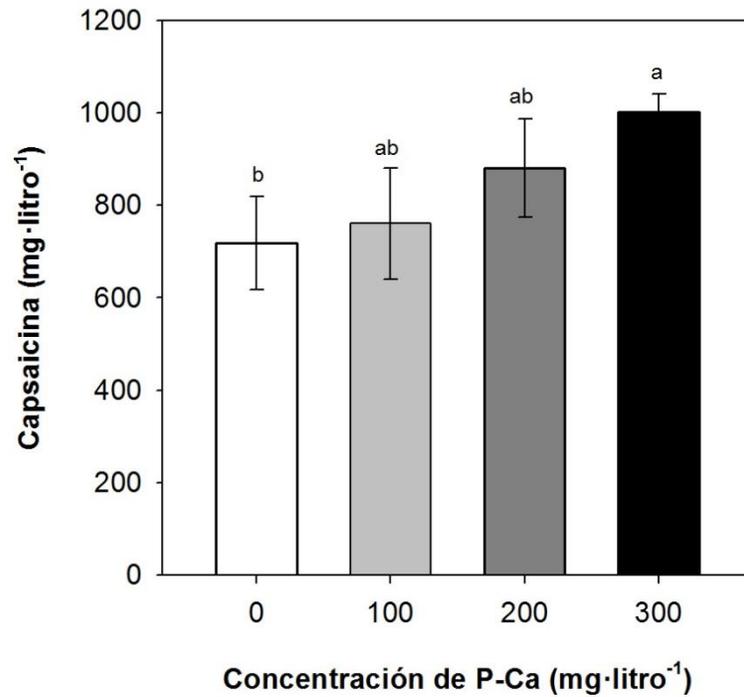
### Capsaicina

Los frutos de plantas tratadas con cualquier dosis de P-Ca mostraron mayor contenido ( $P \leq 0.05$ ) de capsaicina (Figura 3). El tratamiento con 300 mg·litro<sup>-1</sup> de P-Ca produjo el mayor nivel de este antioxidante. Un incremento en capsaicina en frutos de chile Mirador tratados con P-Ca a 175 mg·litro<sup>-1</sup> también ha sido reportado por Ramírez *et al.*, (2010). Aunque el mecanismo de acción del retardante en este proceso no ha sido totalmente elucidado, se ha hipotetizado que el P-Ca ejerce su efecto al modificar el nivel enzimático en la ruta biosintética de los flavonoides, generando flavonoides modificados ligados a la actividad antioxidante en tejidos jóvenes (Rademacher, 2000). Considerando esta experiencia con los resultados de este trabajo, es probable que el aumento en capsaicina ocasionado con los tratamientos con P-Ca pudiera haber tenido una ruta de acción similar.

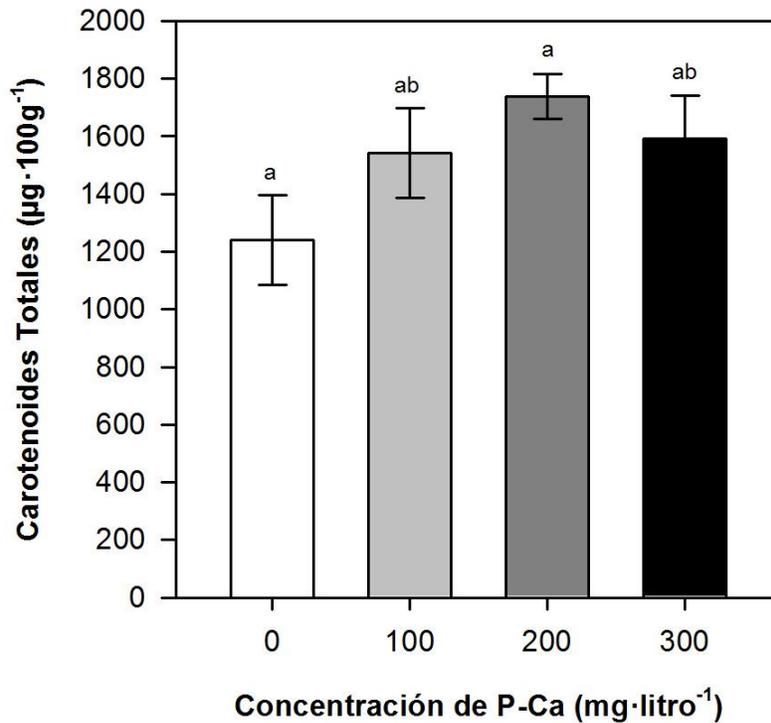
### Carotenoides totales

La P-Ca a cualquier dosis provocó un incremento significativo ( $P \leq 0.05$ ) en el contenido de carotenoides totales (Figura 4). La dosis de 200 mg·litro<sup>-1</sup> mostró la mayor concentración de este pigmento. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Bekheta *et al.* (2009), en *Vicia faba*. Los carotenoides son una fuente importante de provitamina A; la cual se relaciona con el fortalecimiento

del sistema inmunológico en el humano (Martínez *et al.*, 2000). Por lo tanto, P-Ca ofrece una importante alternativa para producir frutos hortícola con mayor contenido de carotenoides totales.



**FIGURA 3.** Influencia de prohexadiona de calcio en el contenido de capsaicina en frutos de chile jalapeño híbrido Grande. Cada barra representa la media de 4 repeticiones  $\pm$  error estándar. Medias con la misma letra son iguales (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

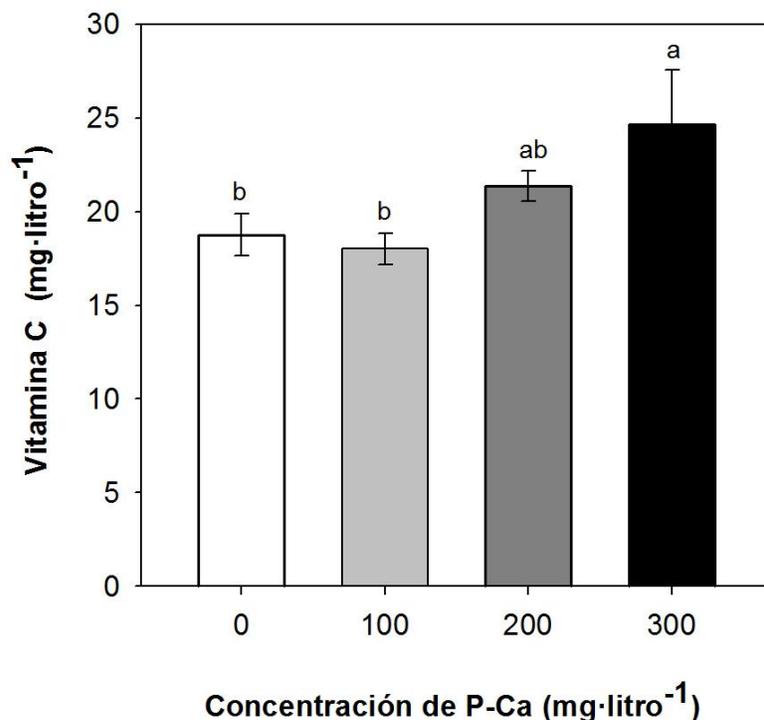


**FIGURA 4.** Influencia de prohexadiona de calcio en el contenido de carotenoides totales en frutos de chile jalapeño híbrido Grande. Cada barra representa la media de 4 repeticiones  $\pm$  error estándar. Medias con la misma letra son iguales (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

### Vitamina C

La Figura 5 muestra el contenido de vitamina C en frutos de chile jalapeño Híbrido Grande. Se observó que P-Ca a 200 y 300 mg·litro<sup>-1</sup> incrementó ( $P \leq 0.05$ ) el contenido de ese antioxidante. Esta declaración es sustentada con las experiencias de aplicaciones de P-Ca, en chile mirador y tomate (Ramírez *et al.*, 2012). La vitamina C es un antioxidante que contribuye a una buena salud en el humano y también fortalece el sistema de protección contra enfermedades como el cáncer, diabetes y presión arterial (McCormick, 2012). Por lo tanto,

aumentos de vitamina C en frutos de especies hortícolas se considera una alternativa importante en la tecnología moderna (Hewett *et al.*, 2012).



**FIGURA 5.** Influencia de prohexadiona de calcio en el contenido de Vitamina C en frutos de chile jalapeño híbrido Grande. Cada barra representa la media de 4 repeticiones  $\pm$  error estándar. Medias con la misma letra son iguales (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

### Actividad enzimática

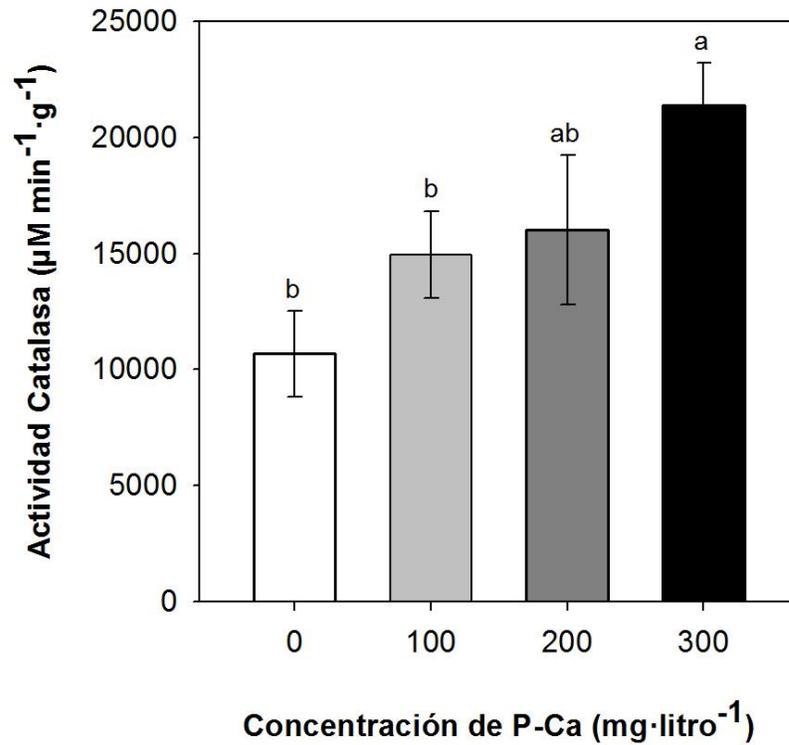
#### Catalasa

La actividad catalasa se incrementó significativamente ( $P \leq 0.05$ ) en los frutos de plantas tratadas con P-Ca a 200 y 300 mg·litro<sup>-1</sup> (Figura 6). La concentración mayor duplicó esa actividad con respecto al testigo. Este resultado concuerda con el reporte de Lian *et al.* (2008) en cacahuate. La catalasa es una enzima

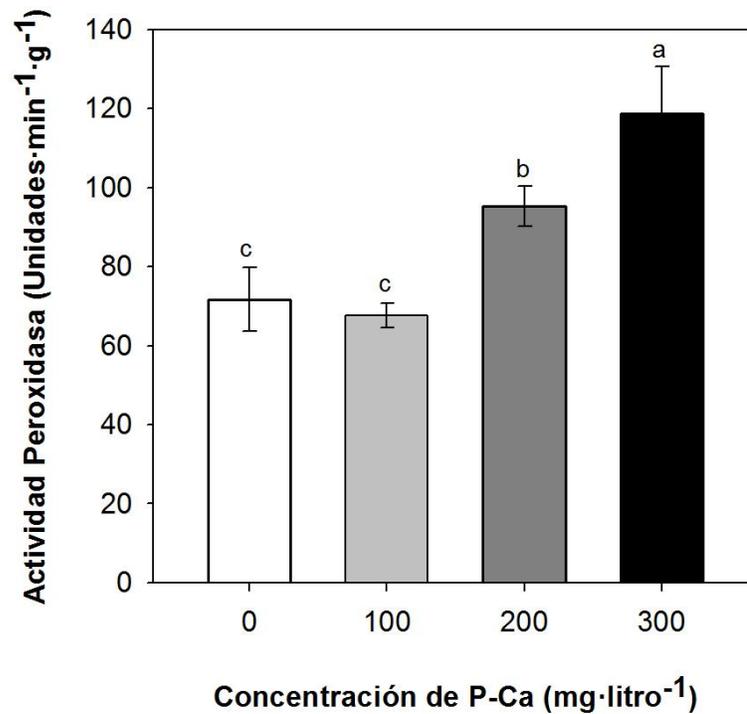
relacionada con el control celular de los niveles de especies activas de oxígeno, catalizando la dismutación del  $\text{H}_2\text{O}_2$  en  $\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{O}_2$  (Acevedo y Scandalios, 1991). Un aumento en la actividad de catalasa se observa durante la maduración del fruto (Jiménez *et al.*, 2002); es posible que P-Ca prolongue esa reacción como ocurre en manzano (Rademacher *et al.*, 2006).

### Peroxidasa

La actividad peroxidasa aumentó ( $P \leq 0.05$ ) en los tratamientos con P-Ca a 200 y 300  $\text{mg}\cdot\text{litro}^{-1}$  (Figura 7). Este efecto fue previamente observado en cebolla y ajo (Ouzounidou *et al.*, 2011). El incremento de la actividad peroxidasa pudiera estar relacionado con el aumento en antioxidantes mostrados en las Figuras 3 y 4; como ha sido observado en frutos de varias especies frutales tratadas con P-Ca (Gosch *et al.*, 2003), por lo que será de interés a futuro investigar en chile jalapeño al P-Ca en esta línea metabólica.



**FIGURA 6.** Influencia de prohexadiona de calcio en la actividad enzimática de catalasa en frutos de chile jalapeño Híbrido Grande. Cada barra representa la media de 4 repeticiones  $\pm$  error estándar. Medias con la misma letra son iguales (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).



**FIGURA 7.** Influencia de prohexadiona de calcio en la actividad enzimática de peroxidasa en frutos de chile jalapeño Híbrido Grande. Cada barra representa la media de 4 repeticiones  $\pm$  error estándar. Medias con la misma letra son iguales (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

## **CONCLUSIONES**

La prohexadiona de calcio reduce la tasa de crecimiento en altura, diámetro de tallo y rendimiento; y, aumenta el contenido de capsaicina, carotenoides totales, vitamina C y la actividad de las enzimas peroxidasa y catalasa en frutos de chile jalapeño híbrido Grande.

## **AGRADECIMIENTO**

Los autores agradecen al B.S. Dan Flick (Wilburellis, USA) por proporcionar la prohexadiona de calcio utilizada en esta investigación.

## **LITERATURA CITADA**

ACEVEDO, A.; SCANDALIOS, J. C. 1991. Catalase and superoxide dismutase gene expression and distribution during stem development in maize. *Development Genetics* 12(6): 423-430.

ANÓNIMO. 2009. SAS Institute, Version 9.1. Inc., Cary, North Caroline, USA.

ASAMI, K. D.; HONG, Y. J.; BARRETT, D. M.; MITCHEL, A. E. 2003. Comparison of the total phenolic and ascorbic acid content of freeze-dried and air-dried marionberry, strawberry, and corn growth using

- conventional, organic, and sustainable agricultural practices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51: 1237-1241.
- BEKHETA, M. A.; ABDELHAMI, D.; EL-MORSI, A. A. 2009. Physiological response of *Vicia faba* to prohexadione-calcium under saline conditions. *Planta Daninha* 27(4): 769-779
- BENNET, D. J.; KIRBY, G. W. 1968. Constitution and biosynthesis of capsaicin. *Journal of the Chemical Society C*: 442-446.
- COSTA, G.; SABATINI, E.; SPINELLI, F.; ANDREOTTI, C.; BOMBEN, C.; VIZZOTTO, 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.
- GOSCH, C.; PUHL, I.; HALBWIRTH, H.; SCHLANGEN, K.; ROEMMELT, S.; ANDREOTTI, C.; COSTA, G.; FISCHER, T. C.; TREUTTER, D.; STICH, K.; FORKMANN, G. 2003. Effects of prohexadione-Ca on various fruit crops: flavonoid composition and substrate specificity of their dihydroflavonol 4-reductases. *European Journal of Horticultural Science* 68(3): 144-151.
- HEWETT, E.; WARRINGTON, I.; HALE, CH. 2012. *Harvesting the Sun: A Profile of World Horticulture*. *Scripta Horticulturae* 14. ISHS. Leuven, Bèlgica. 72p.
- ILIAS, I.; OUZOUNIDOU, G.; GIANNAKOULA, A.; PAPADOPOULOU, P. 2007. Effects of gibberellic acid and prohexadione-calcium on growth, chlorophyll, fluorescence and quality of okra plant. *Biologia Plantarum* 51 (3): 575-578.

- 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: 315-319.
- KOPSELL, D. 2006. Accumulation and bioavailability of dietary carotenoids in vegetable crops. *Trends in Plant Science* 11(10): 499-507.
- LIAN-TAO, D.; TANG-QUN, F.; CAI-BIN, W.; GENG-BO, W.; TIAN-XIN, J; JIAN-QIANG, Z.; TING-LI, W.; KANG, C. 2008. Effect of prohexadione calcium on senescence, yield and quality of summer-planting peanut. *Journal of Peanut Science* 37(4): 327-335.
- LO GIUDICE, D.; WOLF, T. K.; ZOECKELIN, B. W. 2004. Effects of prohexadione-calcium on grape yield components and fruit and wine composition. *American Journal of Enology and Viticulture* 55 (1): 73-83.
- LÓPEZ-DELGADO, H.; DAT, J.; FOYER, C.; SCOTT, I. 1998. Induction of thermotolerance in potato microplants by acetylsalicylic acid and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. *Journal of Experimental Botany* 49(321): 713-720.
- MARTÍNEZ-VALVERDE, I.; PERIAGO M. J.; RÍOS, G. 2000. Significado nutricional de los compuestos fenólicos de la dieta. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 50(1): 5-18.

- MASIA, A. 1998. Superoxide dismutase catalase activities in apple fruit during ripening and post-harvest and with special reference to ethylene. *Physiology Plantarum* 104: 668-672.
- MCCORMICK, R. 2012. A Whole foods plant based health perspective, an opportunity for horticulture. *Chronica Horticulturae* 52(4): 5-9.
- MOLINA, Q. D. M. A.; MEDINA, J. L. A.; GONZALEZ, A. G. A.; ROBLES S. R. M.; GAMEZ, M. N. 2010. Phenolic compounds and antioxidant activity of table grape (*vitis vinifera l.*). Skin from northwest México. *Journal of Agricultural Food* 8: 57-63
- OUZOUNIDOU, G.; GIANNAKOULA, A.; ASFI, M.; ILIAS, I. 2011. Differential responses of onion and garlic against plant growth regulators. *Pakistan Journal of Botany* 43(4): 2051-2057.
- 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*. CADENZAS, E.; PACKER, I. (eds) 2nd edition. CRC press. Washington DC, USA. pp 117-145.
- RADEMACHER, W. 2000. Growth retardants: effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. *Annual Review of Plant Physiology and Molecular Biology* 51: 501-531.
- RADEMACHER, W. 2004. Chemical regulation of shoot growth in fruit trees. *Acta Horticulturae* 653: 29-32.
- RADEMACHER, W.; SPINELLI, F.; COSTA, G. 2006. Prohexadione-ca: modes of action of a multifunctional plant biorregulator for fruit trees. *Acta Horticulturae* 727: 97-106.

- RAMÍREZ, H.; AMADO, C.; BENAVIDES, A.; ROBLEDO, V.; OSORIO, A. 2010. Prohexadiona-ca, anoxa y ba modifican indicadores fisiológicos en chile mirador (*capsicum annuum* L.). Revista Chapingo Serie Horticultura 16 (2): 83-89.
- RAMIREZ, H.; BENAVIDES, A.; LEZA, P.; AMADO, C.; RIVERA, C.; HERRERA, B.; MARTINEZ, A.; MENDEZ, O. 2012. Prohexadione-Ca improves yield and fruit quality on solanaceous crops. Acta Horticulturae 936: 457-461.
- TOMAS, P. 1975. Effect of post-harvest temperature on quality carotenoids and ascorbic content of Alphonso mangoes on ripening. Journal of Food Science 40(4): 704-706.
- TOSUN, I.; USTUN, N. S. 2003. An investigation about antioxidant capacity of fruit nectars. Pakistan Journal of Nutrition 2(3): 167-169.

## **CONCLUSIONES GENERALES**

Con base a los resultados obtenidos y bajo las condiciones en que se realizó el trabajo experimental en chile jalapeño híbrido Grande, se concluye lo siguiente:

Prohexadiona de calcio modifica el fenotipo, reflejado en una reducción en la altura final de la planta, diámetro de tallo y rendimiento.

Prohexadiona de calcio aumenta el contenido de capsaicina, carotenos, vitamina C y la actividad de las enzimas catalasa y peroxidasa en frutos fisiológicamente maduros.

## LITERATURA CITADA

- AKTAS H.; ABAK, K.; SENSOY, S. 2009. Genetic diversity in some Turkish pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes revealed by AFLP analyses. *African Journal of Biotechnology* 8(18): 4378–4386.
- ALVARADO, N. M. D.; VELÁSQUEZ, V. R.; MENA, C. J. 2006. Cosecha, postcosecha y productos agroindustriales de chile seco. INIFAP. Libro Técnico N° 5. 195-221.
- AÑES, Q. M.; y ESPAÑA, M. R. 2011. Efecto de prohexadiona de calcio y boro sobre variables vegetativas y reproductivas en parchita (*Passiflora edulis f. flavicarpa* Degener). *Rev. Unell. Cienc. Tec.* 29: 54-58.
- ARELLANO, B. J.; ILICH, Z.S.; SALAZAR, C. M.; RODRÍGUEZ, H. I. 2013. Actividad enzimática y patrones electroforéticos de peroxidasa de raíces de *Brassica napus* y *Raphanus sativus* y frutos de *Sechium edule* y *Cucumis sativus*. *REBIOL.* 33(1):1-10.
- ARNAO, M. B.; CANO, A. 2004. Actividad antioxidante hidrofílica y lipofílica y contenido de vitamina C de zumos de naranja comerciales: Relación con sus características organolépticas. *Ciencia y Tecnología Alimentaria* 4 (3): 185-189.
- AZA, G. C.; NÚÑEZ, P. H. G.; OCHOA, A. N. 2011. Molecular biology of capsaicinoid biosynthesis in chili pepper (*Capsicum* spp.). *Plant cell Report* 30, 695-706.
- BEGOÑA, O.A.; GRANADO, F. L.; BLANCO, N. 2001. Carotenoides y Salud Humana. Madrid: Editorial Fundacion Espanola de la Nutricion. p. 13-63

- BYERS, T.; PERRY, G. 1992. Dietary carotenoids, vitamin C and vitamin E, as proactive antioxidants in human cancers. *Annual Review of Nutrition* 12: 139-159.
- CÁZARES, S. E.; RAMÍREZ, V. P.; CASTILLO, G. F.; SOTO, H. R. M.; RODRÍGUEZ, G. M. T.; CHÁVEZ, S. J. L. 2005. Capsaicinoides y preferencia de uso en diferentes morfotipos de chile (*Capsicum annuum* L.) del centro-oriente de Yucatán. *AGROCIENCIA*, 39: 627-638.
- CONTRERAS, C. J.; CALDERÓN, J. L.; GUERRA, H. E.; GARCÍA, V. B. 2011. Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel and seed from 24 exotic fruits from Colombia. *Food Res Int* 44(7): 2047-2053.
- COSTA, G.; SABATINI, E.; SPINELLI, F.; ANDREOTTI, C.; BOMBEN, C.; VIZZOTTO, 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.
- CRUZ, P. A. B.; GONZÁLEZ, H. V. A.; SOTO, H. R. M.; GUTIÉRREZ, E. M. A.; GARDEA, B. A. A.; PÉREZ, G. M. 2007. Capsaicinoides, vitamina C y heterosis durante el desarrollo del fruto de chile manzano. *Agrociencia* 41: 627-635.
- DEMING, D. M.; BOILEAU, T. W. M.; HEINTZ, K. H.; ATKINSON, C. A.; ERDMAN, J. W. JR. 2002. Carotenoids: linking chemistry, absorption, and metabolism to potential roles in human health and disease. In *Handbook of antioxidants*. (2nd. ed). New York, USA: Marcel Dekker, Inc.
- DÍAZ, J.; POMAR, F.; BERNAL, A.; MERINO, F. 2004. Peroxidases and the metabolism of capsaicin in *Capsicum annuum* L. *Phytochemistry Reviews* 3: 141-157.

- ESKIN, N. A. M.; ROBINSON, D. S. 2001. Food shelf life stability: Chemical, biochemical and microbiological changes. CRC series in contemporary food science. Boca Raton: CRC Press. 370 pp.
- ESTRADA, J. E.; BESCÓS, P.; VILLAR DEL FRESNO, A. M. 2001. Antioxidant activity of different fractions of *Spirulina platensis* protean extract. *II Farmaco*, 56: 497-500.
- EUGEN, J.; BEI, M.; DALEA, A. 2008. *Capsicumm annuum's* vitamin C biosynthesis. Analele Universitatii din Oradea, Fascicula: Protectia Mediului 8: 17 180.
- EVANS, J. R.; ISHIDA, C.A.; REGUSCI, C. L.; RADEMACHER, W. 1997. Mode of action, metabolism and uptake of BAS-125W, prohexadione-calcium. HortScience 324: 557-558.
- EVANS, L.; REGUSCI, C. L. 1999. Mode of action, metabolism and uptake of BAS-125W prohexadione-calcium. HortScience 34(7): 1200-1201.
- FAOSTAT. 2012 Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.<http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx> [Consulta: octubre 2013] Disponible en Internet.
- FARRÉ, G.; SANAHUJA, G.; NAQVI, S.; BAI, C.; CAPELL, T.; ZHU, C.; CHRISTOU, P. 2010. Travel advice on the road to carotenoids in plants Sci. 179: 28-48.
- FERNÁNDEZ, G. E.; CARBAJAL, L. I.; JAREN, G. M.; GARRIDO, F. J.; PÉREZ, G. A.; HORNERO, M. D. 2012. Carotenoids bioavailability from foods: from plant pigments to efficient biological activities. Food Research International. 46(2): 438-450.
- FISCHER, T. C.; HALBWIRTH, H.; ROEMMELT, S.; SABATINI, E.; SCHLANGEN, K.; ANDREOTTI, C.; SPINELLI, F.; COSTA, G.; FORKMANN, G.; TREUTTER, D.;

- STICH, K. 2006. Induction of polyphenol gene expression in apple (*Malus × domestica*) after the application of a dioxygenase inhibitor . *Plant Physiology*, 128, 604-617.
- FLOEGEL, A.; KIMB, D.; CHUNG, S.; KOO, S. I.; CHUN, O. K. 2011. Comparison of ABTS/DPPH assays to measure antioxidant capacity in popular antioxidant-rich US foods. *Journal of Food Composition and Analysis* 24(7): 1043-1048.
- FOYER, C. 1993. Ascorbic acid. *In: Antioxidants in higher plants*. ALSCHER, R. G.; HESS, J. L. (Eds.). Ed. CRC Press, Inc. Boca Raton. USA. pp. 31-58.
- GOMES, J.; DE SOUSA, T.; NOBRE, V.; DE VASCONCELOS, D.; RODRIGUES, M.; CARNEIRO, S.; CAVALCANTI, E. L.; DE ALBUQUERQUE, U. P. 2010. Antiproliferative activity, antioxidant capacity and tannin content in plants of semi-arid northeastern Brazil. *Molecules* 15: 8534 - 8542.
- HARVESTPLUS. 2006. *Breeding Crops for Better Nutrition*. Harvest Plus. Washington. 4 p.
- HERMOSILLO, C. M. A.; GONZÁLEZ, G. J.; ROMERO, G. S. J.; LUJÁN, F. M.; HERNÁNDEZ, M. A.; ARÉVALO, G. S. 2008. Relación genética de materiales experimentales de chile tipo chilaca con variedades comerciales. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 14(3): 301–307.
- HERRERA, E.; JIMÉNEZ, R.; ARUOMA, O.; HERCBERG, S.; SÁNCHEZ, I.; FRAGA, C. 2009. Aspects of antioxidant foods and supplements in health and disease. *Nutr. Rev.* 67: 140 - 144.
- HEWETT, E.; WARRINGTON, I.; HALE, CH. 2012. *Harvesting the Sun: A Profile of World Horticulture*. *Scripta Horticulturae* 14. ISHS. Leuven, Bèlgica. 72p.

- ISABELLE, M.; LEE, B. L.; LIM, M. T.; KOH, W.; HUANG, D.; ONG, C. N. 2010. Antioxidant activity and profiles of common fruits in Singapore. *Food Chem* (123): 77 – 84.
- JANKIEWICZ, L. 2003. Reguladores del crecimiento, desarrollo y resistencia en plantas. Tomo I. Propiedades y acción. Ediciones Mundi- Prensa. México. 487 pp.
- KIESSLING, D. C. M.; J. E. MAGAÑA, M. A.; SEGOVIA, L. A. J.; OBANDO, R. V.; VILLARREAL, R. H. 2007. Prohexadiona de calcio como regulador de crecimiento en el manzano (*Malus domestica* Borkh.) “Golden Delicious”, Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua, México. *Tecnociencia Chihuahua* 1(3):7-12.
- LAKO, J.; TRENERRY, V. C.; WAHLQVIST, M.; WATTANAPENPAIBOON, N.; SOTHEESWARAN, S.; PREMIER, R. 2007. Phytochemical flavonols, carotenoids and the antioxidant properties of a wide selection of Fijian fruit, vegetables and other readily available foods. *Food Chem* 101: 1727 - 1741.
- MACIAS, D. R.; GRIJALVA, C. R. L. y CONTRERAS F. R. 2012. Respuesta de la aplicación de estiércol y fertilizantes sobre el rendimiento y calidad de chile jalapeño. *Revista de ciencias biológicas y de la salud*. 14(3): 32-38.
- MATHEWS, C. K.; VAN, H. K. E.; AHERN, K. G. 2002. *Bioquímica*. 3° Ed. Addison Wesley (Ed) Madrid.
- MCCORMICK, R. 2012. A Whole foods plant based health perspective, an opportunity for horticulture. *Chronica Horticulturae* 52(4): 5-9.
- MITTLER, R.; VANDERAUWERA, S.; VAN BREUSEGEM, F. 2004. Reactive oxygen gene network of plants. *Trends Plant Sci*. 10: 490-498
- MONROY, V. A.; TOTOSAUS, A.; GONZALEZ, G. L. R.; DE LA FUENTE, S. K. A.; GARCIA, M. I. 2007. Antioxidantes I: Chile ancho (*Capsicum annuum* L.

- grossumsendt.) y romero (*Rosmarinus officinalis*L.) como fuentes naturales de antioxidantes. *Investigación Universitaria Multidisciplinaria* 9: 112-116.
- MORÁN, B. S. H.; AGUILAR, R. V. H.; CORONA, T. T.; F CASTILLO, G. F.; SOTO, H. R, M.; SAN MIGUEL, C. R. 2008. Capsaicinoides en chiles nativos de Puebla, México. *Agrociencia* 42:807-816.
- MOZAFAR, A. 1994. *Plant vitamins: Agronomic, physiological and nutritional aspects*. CRC Press. Boca Raton, Florida. 412 pp.
- NUEZ, F.; ORTEGA, G. R.; COSTA, J. 2003. *El cultivo de pimientos, chiles y ajíes*. Ediciones Mundi-Prensa México. 606 pp.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2013. Centro de prensa: enfermedades cardiovasculares. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/es/>  
[Consultado octubre 13, 2013].
- OWENS, L.; STOVER, E. 1999. Vegetative growth and flowering of young apple trees in response to prohexadione-calcium. *HortScience* 34(7): 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*. CADENZAS, E.; PACKER, I. (eds) 2nd edition. CRC Press. Washington DC, USA. pp 117-145.
- PALOZZA, P.; CALVIELLO, G.; SERINI, S.; MAGGIANO, N.; LANZA, P.; RANELLETTI, F. O. 2001. Beta-carotene at high concentrations induces apoptosis by enhancing oxy-radical production in human adenocarcinoma cells. *Free Radical Biol and Med*. 30:1000-1007.
- PRASAD, N. B. C.; KUMAR, V.; GURURAJ, H. B.; PARIMALAN, R.; GIRIDHAR, P.; RAVISHANKAR, G. A. 2006. Characterization of capsaicin synthase and

- identification of its gene (*csy1*) for pungency factor capsaicin in pepper (*Capsicum sp.*). Proceedings of the National Academy of Sciences 103(36): 13315-13320.
- PRIOR, R. L.; CAO, G. 2000. Antioxidant phytochemicals in fruits and vegetables: Diet and health implications. HortScience 35: 588-591.
- PUHL, I.; TREUTTER, D. 2008. Ontogenetic variation of catechin biosynthesis as basis for infection and quiescence of *Botrytis cinerea* in developing strawberry fruits. Journal of Plant Diseases and Protection. 115, 247-251.
- QUILES, J. L.; RAMIREZ, M. C.; YAQOUB, P. 2006. Olive oil and health. CABI Head Office International. Oxfordshire, UK.
- RADEMACHER, W.; KRAUS, M.; HOEPPNER, P.; EVANS, J. R.; EVANS, R. R. 1998. Prohexadione-Ca. A new biorregulator for the control of vegetative growth in Apple. Data Report APE/HF 19984296RAD, BASF Agricultural Center, 67114 Limburgerhof, Germany.
- 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: 29-32.
- RAMÍREZ, H.; AMADO, C.; BENAVIDES, A.; ROBLEDO, V.; OSORIO, A. 2010. Prohexadione-ca, ANOXA Y BAP modifica indicadores fisiológicos en chile mirador (*Capsicum annum L.*). Revista Chapingo Serie Horticultura 16 (2): 83-89.

- RAMÍREZ, H.; MENDEZ, P.O.; BENAVIDES, A.; AMADO, C. 2009. Influencia de prohexadiona de calcio y promotores de oxidación sobre el rendimiento, capsaicina y vitamina C en chile jalapeño. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 15 (3): 231-236
- RAMÍREZ, H.; PERALTA, M. R. M.; BENAVIDES, M. A.; SANCHEZ, L. A.; ROBLEDO, T. V.; HERNÁNDEZ, D. A. J. 2005. Efecto 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.
- RODRÍGUEZ, A. D. 2001. A guide to carotenoid analysis in foods. Departamento de Ciencia de los Alimentos. Facultad de Ingeniería de los Alimentos. Universidad Estatal de Campinas, Brasil, Ed. OMNI.
- RODRÍGUEZ, A. D. B.; KIMURA, M. 2004. HarvestPlus handbook for carotenoid analysis. HarvestPlus Technical Monograph Series. 2. Washington D. C., USA: International Food Policy Research Institute (IFPRI) - Cali, Colombia: International Center for Tropical Agriculture (CIAT).
- ROSA, A.; DEIANA, M.; CASU, V.; PACCAGNINI, S.; APPENDINO, G.; BALLERO, M.; DESSÍ, M. A. 2002. Antioxidant activity of capsinoids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50(25): 7396-7401.
- SANATOMBI K.; SHARMA G. J. 2008. Capsaicin Content and Pungency of Different *Capsicum* spp. Cultivars. *Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj* 36 (2): 89-90.
- SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA (SIAP). 2012. Producción agrícola por cultivo. Disponible en línea: <http://www.siap.gob.mx>. Consultado el 20 de Julio de 2012.

- SHIMOZAWA, N. 2007. Molecular and clinical aspects of peroxisomal diseases. *J Inherit Metab Dis*, 30:193-197.
- SILVEIRA, J.; LIMA, J.; CAVALCANTI F.; MAIA, J.; VIEGAS, R. 2005. Salt induce oxidative response in plants: Damage oy protection? En: Estresses ambientais: Danos e beneficios em plantas. Ed. Custodio R., E. Araújo, L. Gomes, U. Cavalcante. p. 116-117.
- SOMOS, A. 1984. The paprika. Akademiai Kiado, Budapest .
- TREUTTER, D.; HADERSDORFER, J.; PIETZNER, J.; STEBER, M. 2010. Effect of bioregulators on growth and secondary metabolism of *Actinidia arguta* plants. *Acta Horticulturae* 884: 236-243.
- VAN BREDA, S. G.; VAN AGEN, E.; VAN SANDEN, S.; BURZYKOWSKI, T.; KLEINJANS, J. C.; VAN DELFT, J. H. 2005. Vegetables affect the expresion of genes envolved in carcinogenic and anticarcinogenic processes in the lungs of female C57Bl/6 Mice. *J Nutr*. 135:2546-52.
- VÁZQUEZ, F. F.; MIRANDA, H. M. L.; MONFORTE, G. M.;GUTIÉRREZ, C. G.; VELÁZQUEZ, G. C.; NIETO, P.Y. 2007. La biosíntesis de capsaicinoides, el principio picantedel chile. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30(4): 353-360.
- VENEREO, GUTIÉRREZ, J. R. 2002. Daño oxidativo, radicales libres y antioxidantes. *Rev Cubana Med Milit* 31(2):126-33
- VITALE, A.; BERNATENE, E.; POMILLO, A. 2010. Carotenoids in chemoprevention: Lycopene. *Acta Bioquím Clín Latinoam* 44: 195-23
- WANDERS, R. J.; WATERHAM, H. R. 2006. Peroxisomal disorders: the single peroxisomal enzyme deficiencias. *Biochim Biophys Acta*,1763:1707-1720.

WEAVER, R. J. 1996. Reguladores del crecimiento de las plantas en la agricultura.  
Octava reimpresión. Editorial Trillas. México. 622 pp.

YÁNEZ, R. J. N. 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