

**PROHEXADIONA DE CALCIO PROVOCA CAMBIOS EN EL CRECIMIENTO
VEGETATIVO, GIBERELINAS, RENDIMIENTO Y LUTEOLINA EN CHILE
JALAPEÑO**

VICTOR MANUEL CAMACHO CHAVEZ

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para
Obtener el Grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA



**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
Diciembre 2012

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
SUBDIRECCION DE POSGRADO

**PROHEXADIONA DE CALCIO PROVOCA CAMBIOS EN EL CRECIMIENTO
VEGETATIVO, GIBERELINAS, RENDIMIENTO Y LUTEOLINA EN CHILE
JALAPEÑO**

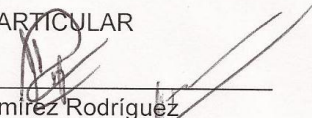
TESIS POR
VICTOR MANUEL CAMACHO CHAVEZ

Elaborada bajo la supervisión del Comité Particular de Asesoría y Aprobada
como Requisito Parcial, para Obtener el Grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

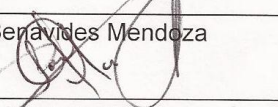
COMITÉ PARTICULAR

Asesor Principal:



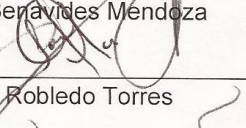
Dr. Homero Ramirez Rodriguez

Asesor:



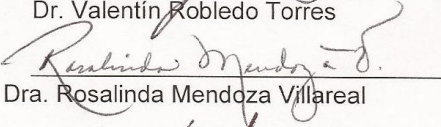
Dr. Adalberto Benavides Mendoza

Asesor

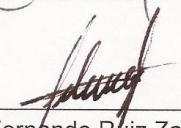


Dr. Valentin Robledo Torres

Asesor



Dra. Rosalinda Mendoza Villareal



Dr. Fernando Ruiz Zarate
Subdirector de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila. Diciembre 2012

INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS	ii
COMPENDIO	iii
ABSTRACT	v
INTRODUCCION	1
Objetivos	3
Hipótesis	3
REVISION DE LITERATURA	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 y ecotoxicológicas de P-Ca	10
Absorción y translocación de prohexadiona de calcio	10
Giberelinas en el tejido vegetal	10
Antioxidantes	11
Flavonoides	12
Luteolina	13
ARTÍCULO	15
CONCLUSIONES GENERALES	41
LITERATURA CITADA	42

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto de P-Ca sobre la enzima FHT y la composición de flavonoides en hojas de manzano y pera.	9
Figura 2. Efecto de P-Ca sobre el contenido de luteolina, eriodictiol-7-glucosido y cumaril-eriodictiol.	14
Figura 3. Efecto de P-Ca sobre la tasa de crecimiento en chile jalapeño híbrido Orozco	26
Figura 4. Efecto de P-Ca sobre el crecimiento del tallo en chile jalapeño híbrido Orozco	27
Figura 5. Efecto de P-Ca sobre el contenido de luteolina en frutos de chile jalapeño híbrido Orozco	32

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Contenido de flavonoides en <i>Capsicum annuum</i> L.	13
Cuadro 2. Efecto de P-Ca sobre el número de frutos y rendimiento en chile jalapeño híbrido Orozco.	28
Cuadro 3. Efecto de P-Ca sobre el contenido de giberelinas endógenas en ápices de chile jalapeño híbrido Orozco.	30

AGRADECIMIENTOS

A mí Dios

A mí ALMA TERRA MATER, que me permitió cursar un MASTER en sus instalaciones y forma parte de los nuevos profesionistas que buscaremos una mejor forma de vida para la humanidad a través de la agricultura.

Al Estimado Dr. Homero Ramírez Rodríguez, por su paciencia y apoyo a lo largo de estos 2 años de estudio, escribiendo el artículo y la tesis así como los consejos críticos siempre para mejorar y ser de mí una mejor persona en todos los ámbitos.

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, además por permitirme trabajar en el laboratorio de fisiología vegetal.

Al Dr. Valentín Robledo Torres por la atención prestada y ser un buen amigo.

A la Dra. Rosalinda Mendoza Villareal por su comprensión siempre tan humana, y enseñarme hacer paciente en el trabajo del laboratorio.

Al Dr. Cristóbal Noé Aguilar y MC. Leonardo Sepúlveda Torres por permitirme trabajar en el laboratorio de alimentos de la UAdeC, además por sus consejos técnicos que me permitieron encontrar lo planteado.

Al MC. Antonio Juárez Maldonado por su amistad brindada y sus consejos siempre acertados en el momento correcto

A los Amigos y Compañeros de estudio José Alfredo Patíchtan, Dagoberto Flores Marín, Pedrito Dajú Vixtha, Gíbran, Roberto Capula (Pedrito II), Lino Ramírez, Neymar Camposeco, Lucí, Fernando Martell, y Adry por a ver los conocido en este proceso donde solo en compañía la vida es más amena.

DEDICATORIA

A mi esposa Jazmín

A mi hijo Daniel

A mis padres Víctor y Yolanda

A mis hermanos Martín y Ana María

“Siempre están conmigo aun sabiendo que los tiempos son difíciles”

“Viviré mi presente de acuerdo a como fue mi pasado, y así mismo como disfrute el presente viviré mi futuro”

COMPENDIO

**PROHEDIONA DE CALCIO PROVOCA CAMBIOS EN EL CRECIMIENTO
VEGETATIVO, GIBERELINAS, RENDIMIENTO Y LUTEOLINA EN CHILE
JALAPEÑO**

POR

VICTOR MANUEL CAMACHO CHAVEZ

**MAESTRIA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA
UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

Buenvista, Saltillo, Coahuila. Diciembre 2012

Dr. Homero Ramírez Rodríguez -Asesor-

Palabras clave adicionales: *Capsicum annuum* L., retardante de crecimiento, hormonas, flavonoides

La presente investigación se llevó a cabo durante el año 2011 con el objetivo de evaluar los efectos de prohexadiona de calcio (P-Ca) sobre el crecimiento vegetativo, contenido endógeno de giberelinas en ápices, rendimiento y luteolina en chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) híbrido Orozco. Cuando las plantas alcanzaron 10 hojas verdaderas con un atomizador manual se aplicaron los siguientes tratamientos: Testigo (agua), 100, 125 y 175 mg·litro⁻¹ de P-Ca. Cada tratamiento se combinó con el surfactante líquido éter-nonifenol-polietilenglicol a una dosis de 1ml·litro⁻¹. La aplicación se realizó temprano por la mañana (8 a 9 a.m.) sobre el follaje de las plantas a punto de goteo. Las variables evaluadas fueron: Tasa de crecimiento de altura y diámetro de tallo; número de frutos y rendimiento por planta; identificación de giberelinas endógenas en ápices por cromatografía de gases y espectrometría de masas (CG-EM) y cuantificación de luteolina en frutos maduros vía cromatografía líquida de alta precisión (CLAP).

La aplicación de prohexadiona de calcio en chile jalapeño reduce temporalmente en forma significativa la tasa de crecimiento en altura y la aumenta en el diámetro del tallo; incrementa el rendimiento y el contenido de luteolina en frutos maduros.

La prohexadiona de calcio inhibe la síntesis de las giberelinas A₁, A₄ y A₇ en ápices.

ABSTRACT

**PROHEXADIONE-CA PROVOQUES CHANGES ON VEGETATIVE GROWTH,
GA_s, YIELD AND LUTEOLIN ON JALAPEÑO CHILI**

BY

VICTOR MANUEL CAMACHO CHAVEZ

MASTER OF SCIENCES IN HORTICULTURE

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

Buenavista, Saltillo, Coahuila. December 2012

Dr. Homero Ramirez Rodríguez -Advisor-

Additional Keywords: *Capsicum annuum* L., growth retardant, hormones, flavonoids

The present investigation was conducted in 2011 to evaluate the effects of P-Ca on vegetative growth, yield, content of endogenous gibberellins in shoot tips and luteolin in jalapeño pepper (*Capsicum annuum* L.) hybrid Orozco. When the plants reached 10 true leaves, using an atomizer, the following treatments were applied: Control (water), 100, 125 and 175 mg·liter⁻¹ of P-Ca. Each treatment was combined with the surfactant nonyl phenol polyethylene glycol ether at a dose of 1 ml·liter⁻¹. The application was carried out early in the morning (8 to 9 a.m.) on the plant foliage to the drip point. The variables evaluated were: growth rate of height and stem diameter, number of fruits and yield per plant; identification of gibberellins in shoot tips by GC-MS and quantification of luteolin via HPLC in ripen fruits.

The prohexadione calcium applied to jalapeño chili, temporarily reduced plant height rate and increased final stem diameter. P-Ca increased yield and luteolin content in ripen fruits. The growth retardant inhibited the synthesis of the endogenous gibberellins A₁, A₄ and A₇ at the apex.

INTRODUCCION

México es considerado como el país con mayor diversidad genética del género *Capsicum*, el cual es tradición consumirlo en fresco o procesado. El chile jalapeño forma parte de la dieta mexicana y hoy en día es una de las especies de mayor demanda en el mercado nacional e internacional (Nuez *et al.*, 2003). 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 vitamina C, carotenoides y flavonoides los cuales se encuentran en el pericarpio del fruto. La luteolina (flavona) es la responsable de proteger el ADN de los radicales libres, evitando el estrés oxidativo causante de enfermedades cancerígenas, mutagenicas, y tumorales (Spinelli *et al.*, 2006).

Hoy en día, a pesar de utilizarse en sistemas altamente tecnificados en la producción de esta especie, la demanda del mercado exige mayor producción y de mejor calidad que impacte 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). La P-Ca estimula la síntesis de las citocininas en meristemas apicales, las cuales promueven mayor floración y cuajado de fruto (Ramírez *et al.*, 2008). 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 capasaicina y vitamina C y licopeno (Ramírez *et al.*, 2010). La P-Ca también se caracteriza por provocar aumentos en la actividad de las enzimas catalasa y peroxidasa en frutos de tomate (Ramírez *et al.*, 2008). Se ha comprobado que P-Ca impacta la biosíntesis de flavonoides, generando nuevos flavonoides e incrementando su contenido en hojas jóvenes de manzano (Roemmelt *et al.*, 2003a; Roemmelt *et al.*, 2003b).

Ante la reciente necesidad de producir frutas y hortalizas con un alto contenido de antioxidantes se plantearon los siguientes objetivos.

OBJETIVOS

Evaluar los efectos de P-Ca en chile jalapeño sobre:

La tasa de crecimiento en altura y diámetro de tallo, en rendimiento y número de frutos

Identificación de las giberelinas endógenas en ápices

Contenido de luteolina en frutos maduros

HIPOTESIS

Prohexadiona de calcio modifica el crecimiento fenotípico

Prohexadiona de calcio modifica el contenido endógeno de giberelinas en ápices de chile jalapeño.

Prohexadiona de calcio modifica el contenido de luteolina en chile jalapeño híbrido Orozco

REVISION DE LITERATURA

Generalidades del cultivo de chile jalapeño

El chile jalapeño *Capsicum annum L.* en México es una de las especies con mayor riqueza y biodiversidad (Hermosillo *et al.*, 2008). El género *Capsicum* de la familia *Solanaceae* tiene gran importancia económica nacional y mundial (Aktas *et al.*, 2009).

El chile en nuestro país es una especie de gran importancia comercial y es cultivado para su consumo en fresco, seco y en productos procesados. El consumo *per capita* fluctúa entre 13-16kg 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 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 chiles asciende a 1.7 millones de hectáreas, con una producción de 25.1 millones de toneladas. Después de China, México es el segundo productor a escala mundial. De acuerdo a la producción obtenida

en toneladas, les siguen Turquía, Estados Unidos, España e Indonesia, representando juntos el 25 % del volumen mundial de producción (FAOSTAT, 2010; Aktas *et al.*, 2009) 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. La superficie cultivada con esta especie en los últimos años fluctúa alrededor de las 1,074 ha, con un rendimiento promedio de 28.6 Kg·ha⁻¹ bajo sistema de riego tecnificado y 15.4 en riego de temporal (SIAP, 2010).

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 de crecimiento

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

Los retardantes del 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 (Weaver, 1996; 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 se reduce la elongación del tallo y se estimula la floración en manzano (Rademacher, 2000). Owens y Stover (1999), refieren que estos compuestos tienen la desventaja de permanecer por periodos largos en el árbol y de producir efectos tóxicos en humanos. Por lo

anterior, la mayoría de ellos están en la actualidad prohibidos para 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 (Evans *et al.*, 1997). Su mecanismo de acción aún no está definido totalmente (Costa *et al.*, 2004).

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* (Kiessling-Davison *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

La P-Ca inhibe la biosíntesis de las giberelinas A₁, A₄ y A₇ 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-oxoglutámico 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 AG₁ como consecuencia, esta aplicación reduce los niveles de giberelinas activas y causa la acumulación de su inmediato precursor AG₂₀ 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 (Figura 1), 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). Los nuevos flavonoides se forman en las hojas jóvenes de manzana, vid y bayas (Spinelli *et al.*, 2005). 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

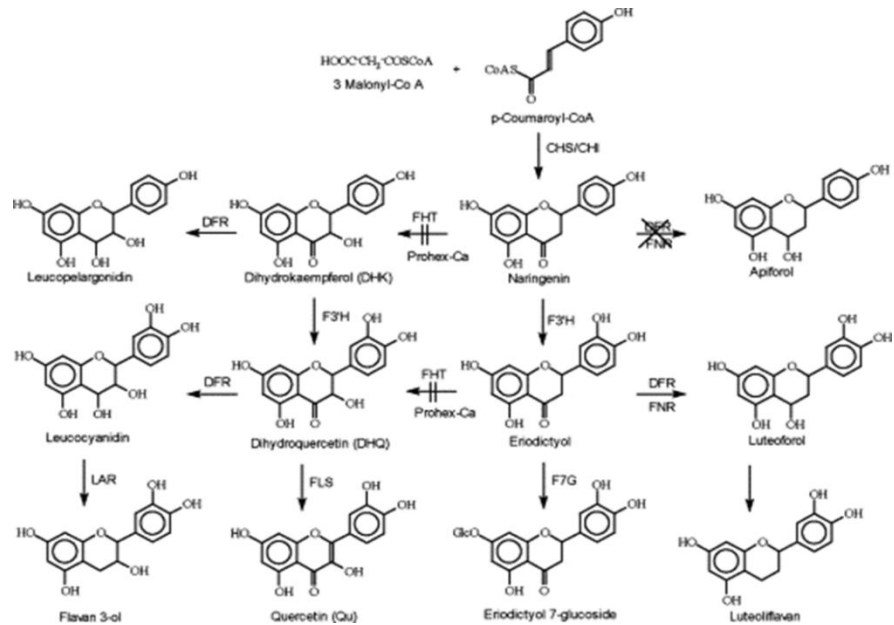


Figura 1. Integración del modelo biosintético que explica las consecuencias de la inhibición de la FHT por P-Ca en la composición de los flavonoides en hojas de manzano y pera considerando como sustrato las enzimas DFR/FNR (Roemmel *et al.* 2003).

aumenta la transcripción de la enzima fenilamonioliasa (PAL), punto clave en la formación de los metabolitos secundarios (Puhlet *et al.*, 2008).

Metabolismo

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 tricarbárilico), 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 Toxicológicas y 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

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.

Giberelinas en el Tejido Vegetal

Las giberelinas forman un grupo de más de 140 tetracicloditerpenos. Estos ácidos poseen un esqueleto gibane unido a un grupo carboxílico en el C-6 (Carbono seis), una lactona en el C-4 y C-10 teniendo funcionalidad en un C-3b (Davies, 2004). Las giberelinas A₁, A₃, A₄ y A₇ son responsables de los crecimientos activos y se involucran en varios otros procesos importantes del desarrollo de la planta como la germinación, desarrollo de semillas, inducción floral y formación de frutos (Zhang y Mattew, 2011). Otros reportes señalan que bajo condiciones de baja y alta temperatura incrementan la síntesis de enzimas importantes de hidrólisis (beta y alfa amilasa, proteasas, lipasas entre otros), las

cuales a su vez inducen la conversión de las reservas energéticas en fuente metabólica para producir mayor energía en corto tiempo lo que se traduce en una rápida brotación, floración, crecimiento y desarrollo de la planta (Kamara, 2001).

Antioxidantes

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 antioxidantes consisten de una cadena de proteínas. 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).

Flavonoides

Los flavonoides se encuentran extensamente distribuidos en el reino vegetal y están presentes en la mayoría de los órganos de la planta y pueden comúnmente poseer actividad antioxidante. La estructura básica de un flavonoide consiste en dos anillos aromáticos unidos por una cadena alifática de tres carbonos (C6-C3-C6), los cuales se condensan en forma de pirano o menos comúnmente en un anillo de furano (Pratt, 1972). Los diferentes niveles de oxidación del anillo pirano central distingue la actividad química de los flavonoides. Éstos aparecen generalmente como glucósidos, con una fracción de azúcar ligada a los grupos oxhidrilo, designados como flavonoides o-glicosil o a través de los enlaces carbono-carbono (Howard y Wildman, 2007). El pericarpio del chile es particularmente rico en flavonoides; los compuestos de mayor importancia en éste son una flavona (luteolina) y un flavonol (quercetina), además a esta clase de flavonoides se le confieren propiedades benéficas que ayudan a combatir enfermedades crónicas degenerativas tales como el cáncer de pulmón y las enfermedades coronarias (Howard y Wildman, 2007). Al poseer estos beneficios, en la actualidad se ha iniciado una búsqueda de compuestos en su mayoría elicitores que modifique su síntesis desarrollando técnicas de identificación y cuantificación de los ácidos fenólicos y flavonoides en el pericarpio del chile utilizando los avances de la cromatografía líquida de alta

precisión (CLAP) y combinada con espectrometría de masas (CLAP-EM), a través de los cuales, se han logrado identificar ácidos hidroxicinámicos y flavonoides (Cuadro 1), en *Capsicum annum L.* (Garcés-Claver *et al.*, 2007; Appedinno, 2007; Thiele *et al.*, 2008).

Luteolina

La luteolina y sus glicósidos están ampliamente distribuidos en el reino vegetal y se han encontrado en muchas plantas comestibles. Esta sustancia se sintetiza a partir de la formula general C6-C3-C6 por isomerización clasificándose como una flavona, la cual posee un anillo β -catecol unido a un enlace doble C2-C3 en conjugación con un grupo oxo-C4.

Cuadro 1. Contenido de flavonoides en pericarpio de chile fresco (Appedinno, 2007)

Tipo	Cultivar	Madurez	Quercetina $\mu\text{g}\cdot\text{litro}^{-1}$	Luteolina
Anaheim	New México 6	Verde	126	51
	Verde	Verde	210	52
Cayenne	Mesina	Verde	25	17
	Bell	Verde	22	11
Yelow Max	Tamb b2	Verde	44	9
	Hungarian	Amarillo	284	68
Jalapeño	Long Hot	Amarillo	447	104
	Ingerno	Amarillo	68	17
	Swet Banana	Amarillo	43	6
	Mitla	Verde	40	14
Serrano	Tammild	Verde	18	10
	Swet	Verde	45	6
	Hidalgo	Verde	160	21

La presencia de estas estructuras como la luteolina y sus glicósidos se asocian a su capacidad para secuestrar las especies reactivas de oxígeno y de

nitrógeno y por lo tanto quelar metales de transición que pueden inducir daño oxidativo a través de la reacción de Fenton, inhibir las enzimas pro-oxidantes, e inducir enzimas antioxidantes. La actividad antioxidante de luteolina no sólo se ha observado *in vitro* sino también *in vivo*.

Los estudios realizados por Spinelli *et al.*, (2006) muestran los efectos quimioprotectores contra tumores malignos *in vivo* sin efectos tóxicos colaterales; así como también, propiedades anti-inflamatorias. En la actualidad investigadores como Rademacher *et al.*, (2004) y Roemmelt *et al.*, (2003b) han utilizado prohexadiona de calcio con la intención de incrementar el contenido de este flavonoide en manzano obteniendo resultados muy prometedores para la horticultura (Figura 2).

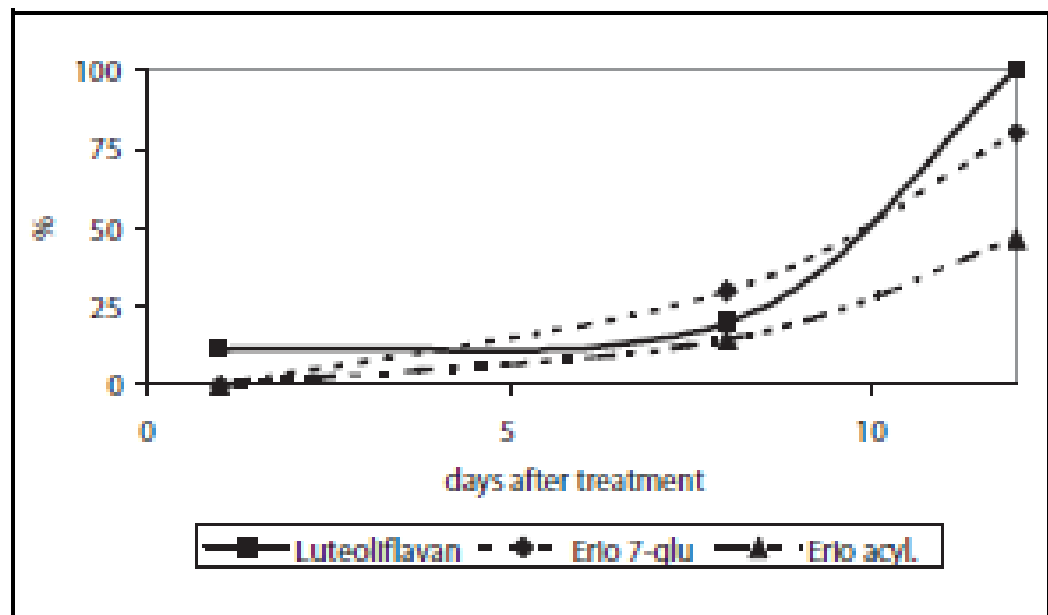


Figura 2. Efecto de P-Ca a una dosis de 250 mg-litro⁻¹ sobre el contenido de luteolina, eriodictiol-7-glucosido (Erio-7-glu) y 6''-o-trans-p-cumaril-eriodictiol-3''-o-glucosido en hojas de manzano (Rademacher *et al.*, 2004; Roemmelt *et al.*, 2003b).

**PROHEXADIONA-CA PROVOCA CAMBIOS EN EL CRECIMIENTO
VEGETATIVO, GIBERELINAS, RENDIMIENTO Y LUTEOLINA EN CHILE
JALAPEÑO**

**Homero Ramírez^{1¶}; Víctor Manuel Camacho-Chávez¹; Cristóbal Noé
Aguilar²; Raúl Rodríguez-Herrera²; Adalberto Benavides-Mendoza¹;
Leonardo Sepúlveda-Torre²; Valentín Robledo-Torres¹; Rosalinda
Mendoza- Villarreal¹**

¹Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo 25315, Coahuila, México. Correo-e: homeror@terra.com.mx ([¶]Autor responsable). Tel. 844-4110306.

²Departamento de Investigación en Alimentos. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Coahuila. Blvd. Venustiano Carranza y José Cárdenas Col. República Ote. Saltillo 25280, Coahuila, México.

Resumen

El chile jalapeño en México además de su aportación hortícola permanente requiere de la aplicación de nuevas tecnologías. Prohexadiona de Calcio (P-Ca) es un retardante de crecimiento que ha mostrado mayor rendimiento y mejor calidad de frutos en manzano y tomate. En este estudio, se evaluó los efectos de P-Ca en chile jalapeño híbrido Orozco. Los tratamientos consistieron en:

Testigo (agua), P-Ca 100, 125 y 175 mg·litro⁻¹ aplicados cuando la planta alcanzó 10 hojas verdaderas. Se evaluó semanalmente la tasa de crecimiento en altura y diámetro en tallo. Se determinó número de frutos y rendimiento por planta. Se identificaron por medio de cromatografía de gases-espectrometría de masas (CGEM) giberelinas en ápices muestreados 4 días después del tratamiento con P-Ca a 175 mg·litro⁻¹ y contenido de luteolina en frutos maduros vía cromatografía líquida de alta precisión (CLAP). Se observó una menor tasa de crecimiento temporal en altura en los tratamientos con P-Ca. Este efecto desapareció en la fase final del proceso vegetativo. El diámetro de tallo aumentó con P-Ca a 175 mg·litro⁻¹. El rendimiento por planta se incrementó con 125 mg·litro⁻¹ del retardante; sin embargo, el número de frutos por planta no fue modificado. En los ápices testigo, se identificaron las giberelinas A₁, A₄ y A₇; mientras que en los tratados con prohexadiona de calcio A₉, A₂₀ y A₅₁ fueron detectadas. El contenido de luteolina aumentó (0.45mg·litro⁻¹) en frutos con P-Ca a 125mg·litro⁻¹.

Palabras clave adicionales: *Capsicum annuum* L., retardante de crecimiento, hormonas, flavonoides

PROHEXADIONE-CA PROVOQUES CHANGES ON VEGETATIVE GROWTH, GA_s, YIELD AND LUTEOLIN ON JALAPEÑO CHILI

Abstract

The cultivation of jalapeño chili in Mexico, although makes an important and permanent horticultural contribution, it requires a constantly adaptation of new technologies. Prohexadione-calcium (P-Ca) is a growth retardant which has proved to improve yield and fruit quality in apple and tomato. In this study, it was evaluated the effect of P-Ca on jalapeño chili hybrid Orozco. The treatments consisted of: control (water), 100, 125 and 175 mg·liter⁻¹ of P-Ca. They were applied when the plants reached 10 true leaves. The growth rate for height and diameter of main stem was weekly measured. The final number of fruit and yield per plant was determined. The identification of endogenous gibberellins at the apex from plants treated with P-Ca at 175 mg·liter⁻¹ was conducted in that tissue collected 4 days after treatment by gas chromatography-mass spectrometry (GCMS); whereas luteolin content was detected via HPLC in ripen fruits. It was observed a temporary reduction in growth rate for stem height in P-Ca treatments. This effect disappeared at the end of the growth process. The stem diameter increased on plants treated with P-Ca at 175 mg·liter⁻¹. The application of P-Ca at 125 mg·liter⁻¹ resulted in an increase in yield; whereas fruit number was not affected. The gibberellins A₁, A₄ and A₇ were found in control apices; while in P-Ca samples A₉, A₂₀ and A₅₁ were detected. Luteolin content was significantly higher (0.45mg·liter⁻¹) in fruits with P-Ca at 125 mg·liter⁻¹.

Additional Keywords: *Capsicum annuum* L., growth retardant, hormones, flavonoids

INTRODUCCION

El chile jalapeño es tradición en México. Es un cultivo importante en la dieta del mexicano y en la economía del país pues genera ingresos competitivos para los productores y favorece la creación de empleos. Es además una especie que requiere constantemente la aplicación de nuevas tecnologías en su manejo con el propósito de mantenerlo competitivo en el mercado nacional e internacional. Su fruto se caracteriza por la presencia de capsaicinoides (Vázquez *et al.*, 2007) y vitamina C. En años recientes se investiga la presencia de otros compuestos con valor fisiológico, donde destacan los flavonoides como la quercetina y la luteolina. Estos compuestos contribuyen a proteger el ADN de los radicales libres (Rosa *et al.*, 2002; Díaz *et al.*, 2004; Molina *et al.*, 2010).

La luteolina es un importante miembro del grupo de los flavonoides. Los estudios realizados por Spinelli *et al.*, (2006) muestran efectos quimioprotectores contra tumores malignos *in vivo* sin efectos tóxicos colaterales; así como también, propiedades anti-inflamatorias. Esta molécula actúa como antioxidante debido a su alta eficiencia en atrapar radicales libres y protegiendo a las células del estrés oxidativo.

Los biorreguladores son claras 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.*, 2003). P-Ca es un retardante del crecimiento prometedor para la horticultura moderna con esas características. Esta sustancia ha mostrado un mejoramiento substancial en producción y calidad de frutos en diversas especies frutales caducifolias (Costa *et al.*, 2004). P-Ca inhibe la biosíntesis de las giberelinas biológicamente activas A₁, A₄ y A₇ al bloquear el 2-oxoglutarato de pendiente de las dioxigenasas; enzimas responsables de la biosíntesis de los flavonoides (Rademacher, 2000). Su efecto permite modificar la estructura o estimular la producción de otros flavonoides en hojas de manzano y peral (Roemmelt *et al.*, 2003a; Prior y Cao, 2000; Tosun *et al.*, 2003). La experiencia relacionada al impacto de prácticas hortícolas que modifiquen los niveles de antioxidantes en las plantas es escasa. Asami *et al.*, (2003) y Kalty Kushad, (2000) 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 lo anterior el objetivo de este trabajo fue el evaluar el efecto de prohexadiona de calcio sobre el fenotipo, giberelinas endógenas y luteolina en chile jalapeño híbrido Orozco.

MATERIALES Y METODOS

La presente investigación se llevó a cabo durante el año 2011 en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, a 25°

23° latitud norte y 101° 01 longitud oeste, con una altitud de 1743 msnm. Se utilizó semilla de chile jalapeño híbrido Orozco. Las semillas fueron sembradas el día 01 de mayo en charolas de poliestireno de 200 cavidades, utilizando como sustrato peat moss premier mix. El 06 de Julio, las plántulas presentaron una altura promedio de 15 cm y fueron trasplantadas individualmente en el invernadero de alta tecnología a bolsas de polietileno de 20 litros con suelo de bosque. Las bolsas fueron ordenadas a una distancia de 35 cm entre plantas y 75 cm entre hileras. Se utilizó un diseño estadístico completamente al azar con 10 repeticiones por tratamiento. Cuando las plantas alcanzaron 10 hojas verdaderas con un atomizador manual se aplicaron los siguientes tratamientos: Testigo (agua), 100, 125 y 175mg·litro⁻¹ de P-Ca. Cada tratamiento se combinó con el surfactante líquido éter-nonifenol-polietilenglicol a una dosis de 1ml·litro⁻¹. La aplicación se realizó temprano por la mañana (8 a 9 a.m.) sobre el follaje de las plantas apunto de goteo. Las variables evaluadas fueron: Tasa de crecimiento de altura y diámetro de tallo; número de frutos por planta y rendimiento por planta; análisis cualitativo de giberelinas en ápices por CG-EM (Ramírez *et al.*, 2008) y cuantificación de luteolina en frutos maduros vía CLAP (Semejima *et al.*, 1995). Los resultados obtenidos fueron analizados con el programa estadístico SAS (2009), para Windows versión 9.0 para obtener el análisis de varianza y comparación de medias mediante Tukey ($P \geq 0.05$).

Parámetros hortícolas

La tasa de crecimiento de la planta en altura y diámetro de tallo se obtuvo al medirse semanalmente durante su ciclo biológico. Para altura, se utilizó una

cinta métrica con escala 0 a 2 m, midiendo desde la base del tallo hasta el ápice de la planta. El diámetro de tallo se midió con un vernier a una escala de 0 a 10 cm. El número de frutos y rendimiento se determinó al sumar el producto cosechado y peso de los mismos en cada uno de los cinco cortes realizados respectivamente. Para el pesado de los frutos se utilizó una balanza Ohaus modelo 3729 capacidad máxima 3000 gramos y resolución de 0.1 gramos.

Análisis de giberelinas endógenas

Análisis cuantitativo

Se utilizó una muestra consistente de 1 g de peso seco; se colocó en un matraz Erlen Meyer al cual se le agregaron 50 ml de metanol (80%). Las muestras obtenidas se conservaron durante 24 h en congelación (-15 °C). Posteriormente se filtraron en papel Whatman N°1 a temperatura de 24 °C. Esta actividad se repitió con el filtrado en dos ocasiones con igual cantidad de metanol (100%) cada 4 h a la misma temperatura, los tres filtrados integrados en un matraz bola de 250 ml fueron evaporados a temperatura de 50 °C para separar la muestra del metanol utilizando un equipo de evaporación rotativa con baño maría. Enseguida se procedió a la purificación de las muestras a través de la separación de impurezas, empleando cápsulas de Sep Pack C18 para separación rápida de hormonas a base de sílica gel. Lo anterior se realizó utilizando la técnica reportada por Ramírez *et al.*, (2008). Enseguida, las muestras se sometieron a cromatografía de capa fina (CCF) utilizando sílica gel GF254, y como solventes separadores isopropanol–amoníaco–agua (10:1:1)

(v:v:v) durante 4 h, a temperatura de 20 °C. Como referencia se utilizó giberelinas A₁, A₄ y A₇ localizadas en los R_f 0.5–0.7 con luz ultravioleta. Al terminar este tiempo, las giberelinas en los R_f de cada muestra, fueron separadas y acondicionadas para su medición analítica (Stephan *et al.*, 1998). Cada muestra purificada fue metilada con diazometano preparado *in situ* y el contenido de giberelinas fue analizado al inyectarse 0.1 ml de la solución a un cromatógrafo líquido de alta precisión modelo Finnigan TSQ 7000 equipado con nitrógeno como gas y una columna Ultrasep Es 100 RP–18 de 1 m de largo por 0.43 mm de diámetro interno y empacada con acetonitrilo: agua conteniendo 0.2% de ácido acético en proporción 50:50 (v:v) con un flujo de 70 ml·min⁻¹. Las giberelinas A₁, A₄, y A₇ fueron utilizadas como referencia analítica durante el programa de corridas por determinación cuantitativa de las giberelinas presentes en el tejido estudiado a través de la generación de la curva de calibración correspondiente, utilizando también 0.1 ml a concentraciones de 1, 10 y 100 ng de cada una de ellas diluidos en acetona–metanol (50:50) (v:v).

Análisis cualitativo

Las muestras con mayor actividad giberélica detectadas en la cromatografía de capa fina (CCF) fueron posteriormente acondicionadas para identificar su molécula utilizando la técnica de cromatografía de gases y espectrometría de masas (Ramírez *et al.*, 2010a). Se utilizó un gramo de peso seco por muestra referida la cual fue disuelta en 0.1 ml de acetona – metanol (98%) en la proporción 50:50 (v:v) y metilado con diazometano. Una proporción del extracto metilado fue disuelto en 0.1 ml de piridina y tratado con 0.1 ml de trimetil

clorosilano y hexametildisilazano. Las alícuotas fueron examinadas con un separador de membrana de silicón Pye104CLC acoplado a un espectrómetro de masas AEIMS30. En este equipo se instalaron columnas de vidrio salinizadas (213x0.2cm) con 2% de Se-33, en 88-100 degas chorm Q. La proporción de flujo fue de 25 ml· min⁻¹ y la temperatura de la columna fue programada entre 180 a 280° C a 2° C·min⁻¹. La espectrometría de masas fue determinada a 24 e Venuna fuente de temperatura de 190° C y una velocidad de búsqueda de 6.5 spor dé cada de masas. El espectro fue registrado por una computadora Dec. Lin.8. La identificación fue conducida por la comparación del índice retención kovats (KRI) y el espectro de espectrometría de masas de sus metil ester trimetilsilil éter con sus derivados de las muestras originales

Luteolina

Extracción y cuantificación

El análisis de luteolina en frutos cosechados se realizó con la técnica reportada por Razmara *et al.*, (2010). El material vegetal de cada muestra experimental previamente congelado, fue molido en un mortero aplicando constantemente nitrógeno líquido. Luego se liofilizo y se colocaron 0.05 g en un tubo Ependorf de 1.5 ml y se agregó 1 ml de una solución compuesta de metanol (70%) – ácido fórmico (1%) – agua destilada (29%). El tubo se sometió a vibración por 20 segundos en un agitador vortex (Scientific products), para posteriormente sonificarlo por 40 minutos en un sonicador Bransom modelo 1510 y se centrifugo en una microcentrífuga (Labnet International modelo 24D) durante 10 minutos a

13000 gravedades (13000 rpm). Después de este proceso se recuperó el sobrenadante traslúcido con una jeringa. Esta solución se pasó a través de filtros syringe-driven filter unit de 0.45 μm (Millipore) y se colocó en un tubo Ependorf nuevo y etiquetado. Se desgasificó durante 5 minutos en un desgasificador Bransom modelo 1510 se inyectó en el cromatógrafo líquido de alta precisión marca Agilent modelo 1120, bajo el programa computacional EZChrom Elite Compact versión 33. 0B. Las condiciones de corrida fueron: Columna Pursuit XRs, C-18, 150 x 4.6 mm, temperatura a 30° C, fases: (A) metanol (B) acetonitrilo (C) ácido acético al 3%, flujo de 1.0 ml/min, volumen de inyección de 10 μL , longitud de onda de 254 nm y un tiempo de corrida de 30 min. La cantidad de luteolina en cada muestra se determinó con curvas estándar de calibración construidas previamente con luteolina en un rango de concentraciones de 0-500 mg·litro⁻¹

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tasa de crecimiento

Altura y diámetro de tallo

La prohexadiona de calcio modificó significativamente la tasa de crecimiento ($P \leq 0.05$) en el tallo de plantas de chile jalapeño híbrido Orozco (Figura 1). Este efecto se observó a partir de la tercera semana de evaluación en los tratamientos con P-Ca. Las plantas tratadas con el retardante de crecimiento mostraron una menor altura durante la mayor parte de su ciclo fenológico. Este efecto desapareció al final de su ontogenia, cuando el crecimiento

prácticamente alcanzó al testigo. Este escenario en la dinámica de crecimiento fue observado por Altintas (2011) en plantas de tomate. El autor reportó una reducción en la tasa de crecimiento quince días posteriores al tratamiento con P-Ca. Las plantas reanudaron su crecimiento un mes después el cual fue similar al testigo al final del ciclo fenológico. Esta experiencia también ha sido observada en manzano (Ramírez *et al.*, 2003), en chile mirador (Ramírez *et al.*, 2010a), en uva (Lo Guidice *et al.*, 2003; Lo Guidice *et al.*, 2004), pera (Costa *et al.*, 2004) y repollo (ILia *et al.*, 2007; Ouzoundou *et al.*, 2010). Ellos reportaron una disminución muy significativa en la altura de sus respectivos cultivos atribuida al efecto de P-Ca. El crecimiento del tallo está directamente ligado a la presencia y acción en ápices de las giberelinas A₁, A₄, y A₇ (Ramírez *et al.*, 2010a). La reducción en el crecimiento observada en este estudio (Figura1). Se atribuye al efecto de P-Ca al inhibir la síntesis de esas hormonas biológicamente activas (Cuadro 2). Lo anterior confirma previos reportes en manzano (Rademacher *et al.*, 2000), pera (Costa *et al.*, 2004), tomate y chile pimiento (Ramírez *et al.*, 2008). Al final de la fase de crecimiento, las plantas tratadas con el P-Ca restauraron su crecimiento. Lo anterior puede reflejar la recuperación del sistema metabólico en la síntesis de las giberelinas señaladas. Esto es una característica observada en durazno, manzano y pera (Byers *et al.*, 2004; Ramírez *et al.*, 2003). En estas especies se demuestra que el bloqueo por P-Ca en la síntesis de giberelinas activas es temporal ya que las AG₁, AG₄ y AG₇ son nuevamente detectadas previamente a la reactivación del crecimiento (Rademacher, 2004).

La figura 2 muestra los efectos de P-Ca en la tasa de crecimiento en el diámetro del tallo. Aunque se observó una clara tendencia a un incremento en este parámetro en los tratamientos con el retardante, solamente la dosis de 175 mg·litro⁻¹ mostró diferencia estadísticamente significativa. Esto ocurrió a partir de la quinta semana de evaluación. El incremento en el diámetro del tallo ha sido también observado en otros cultivos hortícolas (Ramírez *et al.*, 2005; Byers *et al.*, 2004). Se ha propuesto que este efecto es el resultado de cambios anatómicos como resultado de un aumento en la síntesis de almidón en células de médula y corticales del tallo (Tsegaw *et al.*, 2005) y una acumulación de otros asimilados en ese tejido (Ramírez *et al.*, 2003).

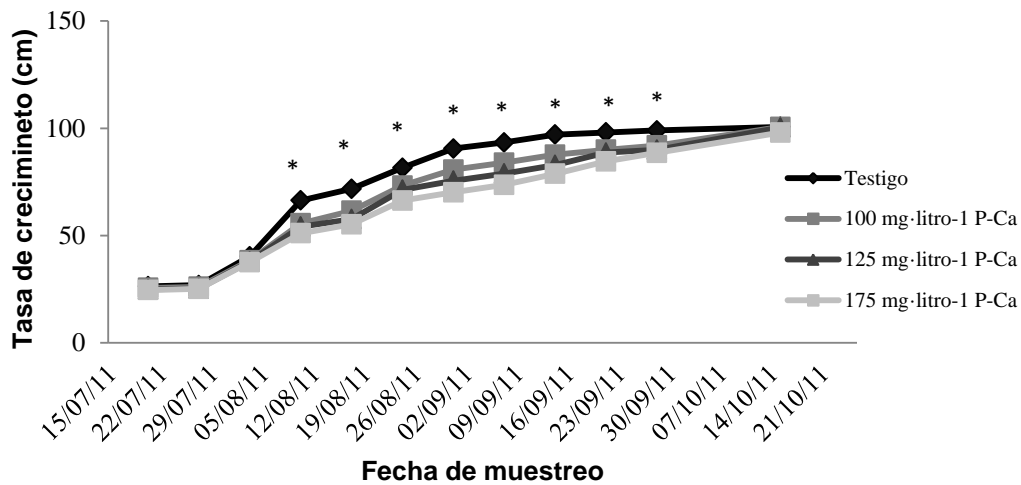


Figura 3. Tasa de crecimiento de chile jalapeño híbrido Orozco después de ser tratado con prohexadiona de calcio. Cada punto representa el promedio de diez repeticiones. *indica diferencia estadísticamente significativa (Tukey $P \leq 0.05$).

Número de frutos y rendimiento

El rendimiento por planta fue estadísticamente mayor con P-Ca a la dosis de 125 mg·litro⁻¹ con respecto al resto de los tratamientos. Las concentraciones del retardante a 100 y 175 mg·litro⁻¹ mostraron una tendencia a mayor y menor

producción al compararse con el testigo respectivamente (Cuadro 1). El aumento en el rendimiento cuando P-Ca fue aplicado en el rango del presente estudio ha sido reportado en tomate (Ramírez *et al.*, 2005; Gemici *et al.*, 2006; Ramírez *et al.*, 2008) y chile (Raviraja *et al.*, 2008; Sridhar *et al.*, 2009; Ramírez *et al.*, 2010a). Este efecto estimulador también fue observado en frutales templados como manzano, durazno, ciruelo, peral y cerezo dulce (Costa *et al.*, 2004; Rademacher, 2004).

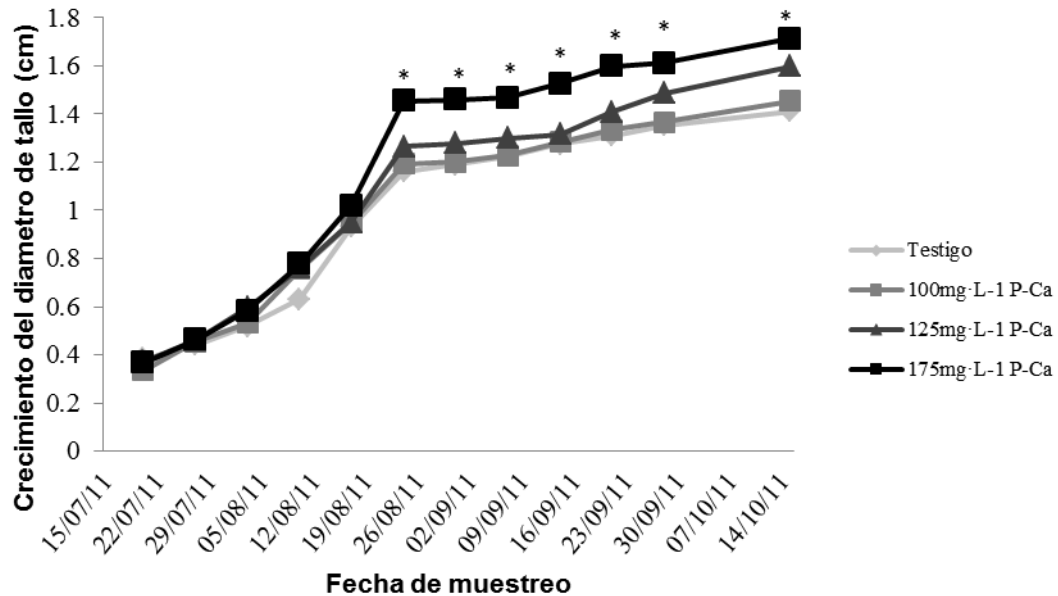


Figura 4. Crecimiento del diámetro de tallo de chile jalapeño híbrido Orozco después de ser tratado con prohexadiona de calcio. Cada punto representa el promedio de diez repeticiones. * Indica diferencia estadísticamente significativa (Tukey $P \leq 0.05$).

El número de frutos por planta mostró una tendencia mayor en los tratamientos con P-Ca. Este resultado coincide con los reportes en chile Mirador (Ramírez *et al.*, 2010a) y tomate de cáscara (Ramírez *et al.*, 2010b). El aumento en el número de frutos y rendimiento observado con la aplicación de P-Ca podría explicar la influencia que tuvo el retardante de crecimiento en la modificación de la translocación de asimilados del ápice hacia los frutos presentes

(Rademacher, 2000). Lo anterior, causado a través de la inhibición de las giberelinas A₁, A₄ y A₇ (Cuadro 2). De esta manera, mas frutos permanecen en la planta recibiendo el flujo de alimento hasta el término de su ciclo (Costa *et al.*, 2004; Rademacher, 2004; Sridhar *et al.*, 2009; Flores *et al.*, 2011). Lo anterior refleja el efecto positivo que tuvo la prohexadiona de calcio en el chile jalapeño.

Cuadro 2. Efecto de P-Ca sobre el rendimiento y número de frutos en chile jalapeño hibrido Orozco.

Factor	P-Ca mg·litro ⁻¹				C.V. %
	Testigo	100	125	175	
Numero de frutos/ planta	32.72	36.57	37.182	43.094	7.9 ^{ns}
Rendimiento (gr)	1821.4b ^z	1859.4b	2090.1a	1761.3bc	5.16*

gr= gramos

*;^{ns}: significativo y no significativo a una $P \leq 0.05$; C.V.: coeficiente de variación

^z Valores con la misma letra dentro de cada factor en cada columna son iguales a la prueba de Tukey a una $P \geq 0.05$.

Giberelinas endógenas

El análisis de cromatografía de gases y espectrometría de masas en ápices de chile jalapeño tratados con 175 mg·litro⁻¹ de P-Ca, permitió identificar las giberelinas A₉, A₂₀ y A₅₁. En los ápices testigo se encontraron las giberelinas A₁, A₄ y A₇ (Cuadro2).

El crecimiento vegetativo en tallos se relaciona directamente con la acción que ejercen las giberelinas A₁, A₄ y A₇ en la división y elongación celular (Salisbury y Ross, 1994). En la presente investigación se encontró que la aplicación de P-Ca redujo la tasa de crecimiento en el tallo de chile jalapeño (Figura 1). Este efecto

refleja la inhibición que ocasionó la P-Ca en la síntesis de las giberelinas biológicamente activas A₁, A₄ y A₇ en el ápice de las plantas tratadas (Cuadro 2). Durante la ausencia de esas hormonas, las giberelinas biológicamente inactivas A₉, A₂₀ y A₅₁ estuvieron presentes. Este cambio giberélico ha sido explicado por Rademacher *et al.*, (2003) y Ramírez *et al.*, (2010c) a través del mecanismo que ejerce P-Ca al inhibirla 3β-hidroxilación de AG₉ y AG₂₀ a AG₁ y AG₄ por las AG-₃oxidasas.

Experiencias similares han sido reportadas cuando se aplicó la prohexadiona de calcio en tomate (Graebe, 1987; Salisbury y Ross, 1994; Sirvastava, 2001; Ramírez *et al.*, 2005), chile (Ramírez *et al.*, 2010c) y fresa (Hytonen *et al.*, 2009). Los autores observaron al igual que en el presente estudio, una restauración en el crecimiento del tallo (Figura 1), cuando la síntesis de las giberelinas biológicamente activas se restableció (Ramírez *et al.*, 2008). Lo anterior demuestra que el efecto de P-Ca, aunque es temporal (Rademacher, 2004), causa impactos positivos en el chile jalapeño (Cuadro 1 y Figura 3).

Luteolina

La aplicación de P-Ca a cualquier dosis causó un incremento significativo ($P \leq 0.05$) en el contenido de luteolina en frutos maduros de chile jalapeño (Figura 3). Este aumento fue mayor en el tratamiento con el retardante a 125mg·litro⁻¹.

La prohexadiona de calcio es un retardante de crecimiento que al ser aplicado en hortalizas como tomate influye en la biosíntesis de los flavonoides. En

ocasión es alterando algunos compuestos o estimulando la formación de otros como las 3-deoxicatequinas (Rademacher, 2000).

Cuadro 3. Giberelinas endógenas presentes en ápices de chile jalapeño híbrido Orozco identificadas por CGEM.

Hormonas	KRI ^a	iones principales e intensidad relativa (%)
Giberelinas	Testigo	
GA₁	2651	[506(100), 448(14), 377(15), 375(18)]
GA₄	2488	[418(21), 403(2), 400(12), 386(25), 284(100)]
GA₇	2416	[416(10), 193(12), 179(5), 155(13)]
	P- Ca 175 mg·litro⁻¹	
GA₉	2295	[330(5), 217(37), 183(19), 159(45)]
GA₂₀	2468	[418(100), 403(17), 387(6), 375(82), 359(19)]
GA₅₁	2507	[418(4), 403(3), 386(15), 371(3), 358(1)]

^aÍndice de retención kovats.

Lo anterior ocurre por el efecto que tiene la molécula de P-Ca sobre el 2-oxoglutarato que produce dioxigenasas (Roemmelt *et al.*, 1999). Roemmelt *et al.*, (2003b) encontró en manzano y peral que P-Ca en un rango de 30 a 250 mg·litro⁻¹ actúa en hojas sobre la enzima hidrolasa flavona (FHT), originando un bloqueo en la síntesis de quercetina y un estímulo en la formación de la enzima flavonona 4 reductasa, activa en la síntesis del luteoferol; el cual a su vez promueve la formación de la luteolina. Meagy *et al.*, (2009) aplicaron 350 mg·litro⁻¹ de P-Ca en menta y encontraron altas concentraciones de eriodictol-7-glucosido precursor de luteoferol. Los autores al hacer un análisis

de correlación observaron un aumento del contenido de luteolina y procianidina. Treutter *et al.*, (2010) reportaron en actinia un aumento en los niveles de flavonoides cuando aplicaron P-Ca combinado con citocininas y giberelinas. Los reportes de esas investigaciones y los resultados ilustrados en la figura 3 permiten considerar un indicio del sinergismo que existe entre P-Ca y las hormonas endógenas de la planta sobre la biosíntesis de los metabolitos secundarios. Este efecto a su vez, puede provocar cambios positivos en las plantas hortícolas. Lo anterior ha sido demostrado con una mayor floración y un aumento en el rendimiento en guayaba (Vargas *et al.*, 2005), manzano (Ramírez *et al.*, 2003) y chile (Ramírez *et al.*, 2010a). La floración trae consigo la producción de flavonoides (Lemberkovics *et al.*, 1996); éstos, forman parte del desarrollo del tubo polínico (Harborne *et al.*, 1984) y eventualmente influirán en el crecimiento y calidad del fruto.

El mecanismo de acción protectora de la luteolina en plantas no se ha elucidado; sin embargo se ha propuesto que esta sustancia natural evita daños en el ADN, causados por radicales libres inducidos por factores adversos internos y externos. Esta condición define a la luteolina con un mayor contenido de antimutagénico al compararse con otros antioxidantes como la quercetina (Semejina *et al.*, 1995).

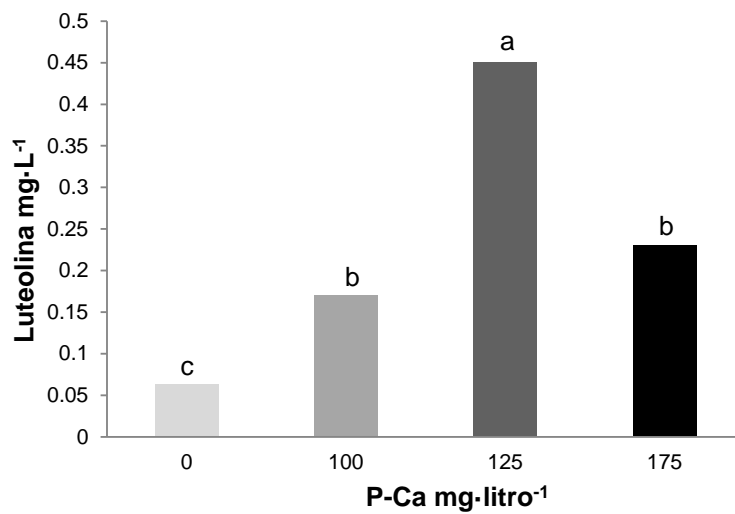


Figura 5. Efecto de P-Ca sobre el contenido de luteolina en frutos maduros de chile jalapeño híbrido Orozco. Cada barra representa el promedio de diez repeticiones. Letras diferentes indican diferencias estadísticas (Tukey, $P \leq 0.05$).

CONCLUSIONES

La aplicación de prohexadiona de calcio en chile jalapeño híbrido Orozco reduce temporalmente en forma significativa la tasa de crecimiento en altura y la aumenta en el diámetro del tallo; incrementa el rendimiento y el contenido de luteolina en frutos maduros.

La prohexadiona de calcio inhibe la síntesis de las giberelinas A₁, A₄ y A₇ en ápices.

AGRADECIMIENTO

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

LITERATURA CITADA

ALTINTAS, S. 2011. Effects of prohexadione-calcium with three rates of phosphorus and chlormequat chloride on vegetative and generative growth of tomato. African Journal of Biotechnology Vol. 10 (75): 17142-17151.

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.
- BYERS, R. E.; CARBAUGH, D. H.; COMBS, L. D. 2004. Prohexadione-calcium suppression of apple tree shoot growth as affect by spray additives. *HortScience* 34 (7): 115-119.
- 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.
- DÍAZ, J.; POMAR, F.; BERNAL, A.; MERINO, F. 2004. Peroxidases and the metabolism of capsaicin in *Capsicum annuum* L. *Phytochemistry Reviews* 3: 141-157.
- FLORES, L.R.; SANCHEZ, D.F; RODRIGUEZ J.E.; MORA, A. R.; COLINAS L. M. T.; LOZOYA, S.H. 2011. Paclobutrazol, uniconazol y cycocel en la producción de tubérculo–semilla de papa en cultivo hidropónico. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 17 (2): 173-182
- GEMICI, M.; BENGÜ, T.; KIT, T. 2006. Effects of 2,4-D and 4-CPA on yield and quality of the tomato, *Lycopersicon esculentum* Miller. *Journal of the Faculty of Science* 29: 24-32.
- GRAEBE, J. E. 1987. Gibberellin biosynthesis and control. *Annual Review of Plant Physiology* 38: 419-465.
- HARBORNE, J. B. 1984. *Phytochemical Methods: A Guide to Modern Techniques of Plant Análisis*. Second edition. Chapman and All. London, UK. 278 pp.

- HYTONEN, T.; ELOMAA, P.; MORITZ, T.; JUNTILA, O. 2009. Gibberellin mediates daylength-controlled differentiation of vegetative meristems in strawberry (*Fragaria X Annasa Duel*). BMC Biology 9:18.
- ILIAS, I.; OUZOUNIDOU, G.; GIANNAKOULA.; 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.
- KALT, W.; KUSHAD, M. M. 2000. The role of oxidative stress and antioxidants in plants and human health. HortScience 35: 569- 572.
- LEMBERKOVICS, E.; PETRI, G.; NGUYEN, H.; MÁTHÉ, I. 1996. Relationship between essential oil and flavonoid biosynthesis in sweet basil. Acta Horticulturae 426: 641-655.
- LO GIUDICE, D.; WOLF, T.K.; MARINI, R.P. 2003. Vegetative response of *Vitis vinifera* to prohexadione-calcium. HortScience 38 (7): 1435-1438.
- 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.
- MEAGY, J. 2009. Effect of prohexadione-calcium on spearmint (*Mentha spicata* L.). Acta Horticulturae 809: 178-185
- MOLINA, Q. D.M.A.; MEDINA, J. L. A.; GONZALES, 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 Mexico. Journal of Food Volume 8: 57-63

- OUZOUNIDOU, G.; ILIAS, L.; GIANNA-KOULA, A.; PAPADOUPULOU, P. 2010, Comparative study on the effects of various plant growth regulators on growth, quality and physiology of *Capsicum Annuum* L. *Pakistan Journal Botany*. 42 (2): 805-814, 2010.
- PRIOR, R. L.; CAO, G. 2000. Antioxidant phytochemicals in fruits and vegetables: Diet and health implications. *HortScience* 35: 588-591.
- 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.
- RADEMACHER, W.; KOBER, L. 2003. Efficient use of prohexadione-ca in pome fruits. *European Journal of Horticultural Science* 68 (3): 107-107.
- RAMÍREZ, H.; GÓMEZ, J. C.; BENAVIDES, A.; ROBLEDO, V.; ENCINA, L. I.; COELLO, C. A. 2003. Influencia de prohexadiona-ca sobre crecimiento vegetativo, producción y calidad de fruto en manzano (*Malus domestica* Borkh). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 9 (2): 285-289.
- RAMÍREZ, H.; PERALTA, M. R. M.; BENAVIDES, M. A.; SANCHEZ, L. A.; ROBLEDO, T. V.; HERNÁNDEZ, D. 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.

- RAMÍREZ, H.; RANCAÑO, A. J. H.; BENAVIDES, M. A.; MENDOZA, V. R.; PADRON, C. E. 2006. Influencia de promotores de oxidación controlada en hortalizas y su relación con antioxidantes. Revista Chapingo Serie Horticultura 12 (2): 189-195.
- RAMÍREZ, H.; HERRERA, G. B.; MENDEZ, Q. Y. H.; BENAVIDES, M. A.; DE LA CRUZ, B. J. A.; ÁLVAREZ, M. V.; RANCAÑO, R. J. H.; VILLAREAL, Q. J. A. 2008. Prohexadiona de calcio disminuye el contenido de giberelinas endógenas en ápices de tomate saladette y chile pimiento. Revista Chapingo Serie Horticultura 14 (2): 193-198.
- 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.; AMADO, C.; BENAVIDES, A.; ROBLEDO, V.; OSORIO, A. 2010a. Prohexadiona-ca, ANOXA Y BAP modifica indicadores fisiológicos en chile mirador (*Capsicum annum* L). Revista Chapingo Serie Horticultura 16 (2):83-89.
- RAMÍREZ, H.; RIVERA, C. C. E.; BENAVIDES, A.; ROBLEDO, V; REYNA, S. G.; 2010b. Prohexadiona-ca una alternativa en la producción de tomate de cascara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Revista Chapingo Serie Horticultura 16 (2): 139-146.
- RAMÍREZ, H.; HERRERA, B.; BENAVIDES, A.; RANCAÑO, J. H.; ALVAREZ, M. V.; AMADO, R. C.; MARTINEZ, O. A.; 2010c. Prohexadiona de calcio incrementa la capacidad antioxidante, el contenido de licopeno

y la actividad enzimática en frutos de tomate floradade. Revista Chapingo Serie Horticultura 16 (3): 155-160.

RAVIRAJA, S. G.; KRISHNA, M. R.; VISHWANATH, A. P.; KEMPEGOWDA, K.; RAGHAVENDRA, D. 2008. Influence of pruning and growth regulators on the shelf life of coloured capsicum (*Capsicum annum* L.) cv. Bombi under greenhouse. Mysure Journal Agricultural Science 42 (1): 33-37.

RAZMARA, R. S.; DANESHFAR, A.; SAHRAEI, R. 2010. Solubility of quercetin in water + methanol and water + ethanol from (292.8to 333.8). Journal Chemical Engineering Data 55 (9): 3934–3936

ROEMMELT, S.; TREUTTER, D.; SPEAKMAN, J. B.; RADEMACH-ER, W. 1999. Effects of Prohexadione-Ca on the flavonoid metabolism of apple with respect to plant resistance against fire blight. Acta Horticulturae 489: 359-363 .

ROEMMELT, S.; ZIMMERMANN, N.; RADEMACHER, W.; TREUTTER, D. 2003a. Formation of novel flavonoides in apple (*Malus x domestica*) treated with the 2-oxoglutarate-dependent dioxygenase inhibitor Prohexadione-Ca. Phytochemistry 64: 709-716.

ROEMMELT, S.; FISCHER, T. C.; HALBWIRTH, H.; PETEREK, S.;SCHLANGEN, K.; SPEAKMAN, J. B.; TREUTTER, D.; FORKMANN, G.; STICH, K. 2003b. Effect of dioxygenase inhibitors on the resistance-related flavonoid metabolism of apple and pears:

- Chemical, biochemical and molecular biological aspects. European Journal Horticulture Science 68 (3): 129-136.
- ROSA, A.; DEIANA, M.; CASU, V.; PACCAGNINI, S.; APPENDINO, G.; BALLERO, M.; ASSUNTA, D. M. 2002. Antioxidant activity of capsinoids. Journal of Agricultural and Food Chemistry 50: 7396-7401.
- SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. 1996. Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica. México, D. F. 759 pp.
- SAS, INSTITUTE. 2009. SAS/STAT. User's Guide. Release 9.00 ed. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina., USA. 27513.
- SEMEJIMA, K.; KANAZAWA, K.; ASHIDA, H.; DANNO, G. 1995. Luteolin: A strong antimutagen against dietary carcinogen, Trp-P-2, in peppermint, sage and thyme. Journal of Agricultural and Food Chemistry 43: 410-414.
- SPINELLI, F.; COSTA, G. 2006. Prohexadione –Ca: Modes of action of a multifunctional plant biorregulator for fruit trees. Acta Horticulturae 727: 97-106.
- SRIDHAR, G.; KOTI, R. V.; CHETTI, M. B.; HIREMATH, S. M. 2009. Effect of naphthalene acetic acid and mepiquat chloride on physiological components of yield in bell pepper (*Capsicum annuum* L.). Journal Agriculture Research 47(1): 53-62.
- SRIVASTAVA, L. M. 2001. Plant growth and development. Hormones and environment. Academic Press, U.S.A. 772 pp.

- STEPHAN, M.; BANGERTH, F.; SCHNEIDER, G. 1998. Transport and metabolism of the gibberellins A₁, A₃ and A₄ after application to developing apple fruits of *Malus domestica* cv. Jonagold. *Acta Horticulturae* 463: 113-119.
- TOSUN, I.; USTUN, N. S. 2003. An investigation about antioxidant capacity of fruit nectars. *Pakistan Journal of Nutrition* 2: 167-169.
- 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.
- TSEGAW, T.; HAMMES, S.; ROBBERTSE, J. 2005. Paclobutrazol–induced leaf, stem, and root anatomical modification in potato. *HortScience* 40 (5): 1343–1346.
- VARGAS, A.D.; SOTO, M.; GONZALEZ, H. V. A.; ENGLEMAN, E. M.; MARTINEZ, G. A.; 2005. Variación del contenido de flavonoides en hojas de guayaba en condiciones de estrés. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 11 (1): 89-92.
- VÁZQUEZ, F. F.; MIRAND, H. M. L.; MONFORTE, G. M.; GUTIÉRREZ, C. G.; VELÁZQUEZ, G. C.; NIETO, P. Y. 2007. La biosíntesis de capsaicinoides, el principio picante del chile. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30 (4): 353-360.

CONCLUSIONES GENERALES

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

Prohexadiona de calcio retarda la tasa de crecimiento en la altura de planta e incrementa el diámetro de tallo significativamente; aumenta el rendimiento por planta y el contenido de luteolina en frutos maduros.

Prohexadiona de calcio a dosis de $175 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ inhibe la síntesis de las giberelinas biológicamente activas A_1 , A_4 y A_7 y estimula la permanencia metabólica de las giberelinas inactivas A_9 , A_{20} y A_{53} .

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.
- APPENDINO, G. 2008. Capsaicin and Capsaicinoids.p. 73 -110. En: E. Fattorusso y O. Tagliatella -Scafati (eds.), *Modern Alkaloids: Structure, Isolation, Synthesis and biology*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. Weinheim, Alemania.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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 Prod STAT Crops. 2010. FAO.
<http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>.
- 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 x domestica*) after the application of a dioxygenase inhibitor . *Plant Physiology*, 128, 604-617.
- GARCÉS, C. A.; GIL, O. R.; ÁLVAREZ, F. A.; ARNEDO, A. M. S. 2007. Inheritance of Capsaicin and Dihydrocapsaicin, Determined by HPLC-ESI/MS, in an Intraspecific Cross of *Capsicum annum* L. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55 (17): 6951-6957.
- 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.

HOWARD, L.R. Y WILDMAN, R. E. C. 2007. Isoflavones: source and metabolism, En: Wildman, R. E. C. editor. Handbook of nutraceuticals and functional foods. Boca Raton, Fla.: CRC Press. 165–191pp.

JANKIEWICZ, L. 2003. Reguladores del crecimiento, desarrollo y resistencia en plantas. Tomo I. Propiedades y acción. Ediciones Mundi-Prensa. México. 487 pp.

KAMARA, K. A. 2001. Nutrición, regulación del crecimiento y desarrollo vegetal. Memoria del Primer Simposio Nacional de Horticultura. Saltillo, Coahuila, México. 114 pp.

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 (*Rosmarinusofficinalis*L.) como fuentes naturales de antioxidantes. Investigación Universitaria Multidisciplinaria 9: 112-116.

NUEZ, F.; ORTEGA, G. R.; COSTA, J. 2003. El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Ediciones Mundi-Prensa México. 606 pp.

OZLEM, A.; BENIAN, E. 2007. Pepper seed yield and quality in relation to fruit position on the mother plant. Pakistan Journal of Biological Sciences 10 (23): 4251-4255.

- PRIOR, R. L.; CAO, G. 2000. Antioxidant phytochemicals in fruits and vegetables: Diet and health implications. *HortScience* 35: 588-591.
- PRATT, D.E. 1972. Water -Soluble antioxidant activity in soybeans. *Journal of Food Science* .37: 322–323.
- 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.
- RADEMACHER, W.; KRAUS, M.; HOEPFNER, 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. 2003. El uso de hormonas en la producción de cultivos hortícolas para exportación. Memoria del Tercer Simposio Nacional de Horticultura. Saltillo, Coahuila, México.1-22 pp.
- RAMÍREZ, H.; HERRERA, G. B.; MENDEZ, Q.Y. H.; BENAVIDES, M.A.; DE LA CRUZ, B. J. A.; ÁLVAREZ, M. V.; RANCAÑO, A. J. H.; VILLAREAL, Q. J. A. 2008. Prohexadiona de calcio disminuye el

contenido de giberelinas endógenas en ápices de tomate saladette y chile pimiento. Revista Chapingo Serie Horticultura 14 (2): 193-198.

RAMÍREZ, H.; AMADO, C.; BENAVIDES, A.; ROBLEDO, V.; OSORIO, A. 2010a. Prohexadiona-ca, ANOXA Y BAP modifica indicadores fisiológicos en chile mirador (*Capsicum annum* L). Revista Chapingo Serie Horticultura 16 (2): 83-89.

ROEMMELT, S.; ZIMMERMANN, N.; RADEMACHER, W.; TREUTTER, D. 2003a. Formation of novel flavonoids in apple (*Malus x domestica*) treated with the 2-oxoglutarate-dependent dioxygenase inhibitor Prohexadione-Ca. *Phytochemistry* 64:709-716.

ROEMMELT, S.; FISCHER, T. C.; HALBWIRTH, H.; PETEREK, S.; SCHLANGEN, K.; SPEAKMAN, J.B.; TREUTTER, D.; FORKMANN, G.; STICH, K. 2003b. Effect of dioxygenase inhibitors on the resistance-related flavonoid metabolism of apple and pears: Chemical, biochemical and molecular biological aspects. *European Journal Horticulture Science* 68 (3):129-136.

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.

SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA (SIAP). 2010. www.siap.gob.mx. Consultada en octubre de 2010.

- SPINELLI, F.; SPEAKMAN, J.B.; RADEMACHER, W.; HALBWIRTH, H.; STICH, K.; COSTA, G. 2005. Luteoforol, a flavan 4-ol, is induced in pome fruits by prohexadione-calcium and shows phytoalexin-like properties against *Erwinia amylovora* and other plant pathogens. *European Journal Plant Pathology* 112, 133-142.
- SPINELLI, F.; COSTA, G. 2006. Prohexadione -Ca: Modes of action of a multifunctional plant biorregulator for fruit trees. *Acta Horticulturae* 727: 97-106.
- SOMOS, A. 1984. The paprika. Akademiai Kiado, Budapest .
- THIELE, R.; MUELLER-SEITZ, E.; YPETZ, M. 2008. Chili Pepper Fruits: Presumed Precursors of Fatty Acids Characteristic for Capsaicinoids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56 (11): 4219 -4224.
- 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 picante del chile. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30(4): 353-360.
- WEAVER, R. J. 1996. Reguladores del crecimiento de las plantas en la agricultura. Octava reimpression. 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

ZHANG, C Y WHITING M. 2011. Pre-harvest foliar application of prohexadione-ca and giberellins modify canopy source-sink relations and improve quality shelf-life of bing sweet cherry. *Plant Growth Regulation* 65:145-156.