

# **PROHEXADIONA-CA MODIFICA PARÁMETROS HORTÍCOLAS, ACTIVIDAD ENZIMÁTICA Y ANTIOXIDANTES TOTALES EN TOMATE Y CHILE PIMIENTO**

**BRUNO HERRERA GÁMEZ**

## **TESIS**

Presentada como requisito parcial para  
Obtener el Grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS  
EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
"ANTONIO NARRO"  
PROGRAMA DE GRADUADOS**

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México  
Marzo de 2007

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

**PROHEXADIONA-CA MODIFICA PARÁMETROS HORTÍCOLAS,  
ACTIVIDAD ENZIMÁTICA Y ANTIOXIDANTES TOTALES EN  
TOMATE Y CHILE PIMIENTO**

TESIS POR

**BRUNO HERRERA GÁMEZ**

Elaborada bajo la supervisión del Comité Particular de Asesoría y  
aprobada como requisito parcial, para optar al grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS  
EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN**

COMITÉ PARTICULAR

Asesor Principal

---

Dr. Homero Ramírez Rodríguez

Asesor

---

Dr. Adalberto Benavides Mendoza

Asesor

---

Dr. José Ángel Villarreal Quintanilla

---

Dr. Jerónimo Landeros Flores  
Subdirector de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila. Marzo de 2007

## DEDICATORIA

### A MI FAMILIA.

#### A MIS PADRES:

Sr. Adrián Herrera Azuara.

Sra. María Luisa Gámez Barrón.

*Por ser pilares inquebrantables, ejemplos a seguir.*

#### A MIS HERMANOS:

Adrián

Rosa María

Jorge Adrián

José Alfredo

Luis Manuel

María del Carmen

*Gracias a Dios, otra vez somos siete.*

#### A MI ESPOSA:

María Magdalena Castillo Badillo.

*Por hacer mis días maravillosos*

#### A MIS HIJOS:

José Adrián Herrera Castillo (Chayan).

Ángela Yasmín Herrera Castillo (Angelita).

*Por regalarme una palabra cada vez que llega a casa... papá*

#### A mis amigos:

Ricardo, Octavio, Sir Arturo, Saúl, Vicente, Mario, Abel,

Odilon, Juan, Jorge, Benito y Omar.

*Por hacerme saber que puedo contar con ustedes.*

*Solo anhelo que mis hijos se sientan tan orgullosos  
de mí, como yo me siento de mis padres.*

*Bruno Herrera Gámez.*

## AGRADECIMIENTOS

A **DIOS**, por brindarme la vida.

A mi **UNIVERSIDAD**, te amo, y te llevare siempre en mi corazón.

Al Consejo Nacional de Ciencia y tecnología (**CONACYT**), mil gracias por apoyar a los futuros científicos y tecnólogos de México.

A mis padres, **Adrián Herrera Azuara** y **María Luisa Gámez Barrón**, por que en ustedes siempre encontré ESTIMULO, AMOR y CONFIANZA; en ti PADRE halle FUERZA, en ti MADRE halle AMOR, por ustedes, soy quien soy. Gracias.

A mis HERMANOS, **Adrián, Rosa María, Jorge Adrián, José Alfredo, Luis Manuel** y **María del Carmen**, en quienes siempre encontré palabras de aliento para seguir adelante, gracias.

A **Magda** quien es el amor de mi vida y madre de mis dos hijos a quienes tanto adoro, **José Adrián** y **Ángela Yazmín**, Gracias por darme todo lo que necesito.

A toda la familia **Herrera Azuara**, especialmente, a mi tía Socorro, gracias por confiar en mí. A la familia **Gámez Barrón**, sumamente contento por contar con ustedes en cada paso de mi vida, siempre cuenten conmigo.

A mis sobrinitos Itzel **Adriana** Guerrero Herrera, **Guillermo** de Jesús Guerrero Herrera, María del **Rocío** Guerrero Herrera, Celina **Bruney** Herrera Saldivar, **Jaqueline** Herrera Saldivar, José **Hernán** Herrera Saldivar.

Dios los bendiga siempre. A mis cuñados: **Guillermo** Guerrero Guerrero, **Rosalba** Saldivar Cerecedo y **Ninfa** Saldivar Cerecedo.

A mi suegra: **Eloísa Castillo Pineda**, gracias por todo lo que me ha dado, gracias a usted, hoy puedo decir que hermosa familia tengo.

A mis compadres **Dante y Lolís**.

A la señora **Antonia Vázquez** y su apreciable familia, a todos ellos, gracias.

Gracias al Dr. **Alejandro Zermeño González** por ser mucho más que un jefe de programa, por ser un buen amigo.

Al Dr. **Homero** Ramírez, Gracias por su valioso tiempo.

Al Dr. **Adalberto** Benavides, Gracias.

Al Dr. **José Ángel** Villarreal, Gracias.

A todos mis conocidos, con temor de no incluir a alguno, puesto que son muchos, gracias por compartir conmigo, sus alegrías, ilusiones, anhelos, sueños y esperanzas, siempre sigan adelante.

A los que yo considero mis amigos.

# COMPENDIO

## PROHEXADIONA-CA MODIFICA PARÁMETROS HORTÍCOLAS, ACTIVIDAD ENZIMÁTICA Y ANTIOXIDANTES TOTALES EN TOMATE Y CHILE PIMIENTO

POR

BRUNO HERRERA GÁMEZ

MAESTRÍA

INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO

Buenavista, Saltillo, Coahuila. Marzo 2007

Dr. Homero Ramírez Rodríguez. –Asesor-

**Palabras clave:** *Lycopersicon esculentum* Mill., giberelinas, catalasa, peroxidasa, licopeno, capacidad antioxidante total.

La presente investigación se desarrolló en dos etapas.

La primer etapa se realizó con el propósito de evaluar el efecto de prohexadiona de calcio (P-Ca) en el contenido endógeno de giberelinas en ápices de tomate saladette (*Lycopersicon esculentum* Mill.) var. Río Grande y chile pimiento (*Capsicum annuum* L.) var. Capistrand. Se aplicaron 3 dosis del retardante

(125, 175 y 200 mg L<sup>-1</sup>) y un testigo en ambas hortalizas en el estadio de plántula con seis hojas verdaderas. Los ápices se cosecharon los días 0, 1, 3 y 6 después de haber realizado la aplicación de los tratamientos. Se encontró que los ápices de tomate saladette tratados con P-Ca mostraron un menor contenido de las giberelinas A<sub>4</sub> y A<sub>7</sub> a partir del siguiente día de haberse aplicado los tratamientos. Esta tendencia fue consistente hasta el sexto día de evaluación. Resultados similares se registraron con los ápices de chile pimiento. Los análisis de cromatografía de gases y espectrometría de masas, permitieron identificar en ápices tratados con P-Ca la giberelina A<sub>20</sub> en tomate saladette, mientras que las giberelinas A<sub>20</sub> y A<sub>53</sub> estuvieron presentes en chile pimiento. En los ápices testigo de ambas hortalizas, se encontraron las giberelinas A<sub>1</sub>, A<sub>4</sub> y A<sub>7</sub>.

La segunda etapa se llevó a cabo con el propósito de conocer los efectos de prohexadiona de calcio (P-Ca) en parámetros vegetativos, reproductivos, postcosecha, capacidad antioxidante total, contenido de licopeno y actividad de las enzimas catalasa y peroxidasa en plantas y frutos de tomate bola variedad Floradade. Se evaluaron plantas tratadas con tres dosis del retardante (125, 175 y 200 mg L<sup>-1</sup>) y un testigo, con una y dos aplicaciones. La primera aplicación se realizó cuando las plantas presentaban primordios florales, y la segunda aplicación 15 días después. La altura de la planta se redujo notablemente con las aplicaciones de P-Ca, mostrando una marcada reducción en la altura conforme se incrementa la dosis fue. P-Ca incrementó el número de racimos y frutos por planta. La presión en el fruto se incrementó por efecto del retardante. El número de flores, porcentaje de fruto cuajado, diámetro del tallo,

número de entrenudos, producción por planta y el radio del fruto no mostraron un efecto ante las aplicaciones de P-Ca. El peso fresco y seco de la planta, el peso y los sólidos solubles totales del fruto se redujeron por efecto de P-Ca. P-Ca incrementó sustancialmente la capacidad antioxidante total en frutos de tomate, encontrándose una mayor actividad antioxidante en frutos en el estadio de maduración de hombros verdes. La concentración de licopeno se incrementó notablemente en los frutos de tomate provenientes de plantas tratadas con cualquiera de las dosis empleadas de P-Ca, encontrando mayor concentración de licopeno en frutos en el estadio de maduración mas avanzado. La actividad enzimática tanto para peroxidasa y catalasa se incrementó significativamente con la aplicación de P-Ca.



# ABSTRACT

## PROHEXADIONE-CA MODIFIES HORTICULTURAL PARAMETERS, ENZYMATIC ACTIVITY AND TOTAL ANTIOXIDANT IN TOMATO AND BELL PEPPER

BY

BRUNO HERRERA GÁMEZ

MASTER

PRODUCTION SYSTEM ENGINEERING

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO

Buenavista, Saltillo, Coahuila. March 2007

Dr. Homero Ramírez Rodríguez. –Adviser–

**Key words:** *Lycopersicon esculentum* Mill., gibberellins, catalase, peroxidase, lycopene, total antioxidant capacity.

The present investigation was conducted in two phases

In the first phase, this study was carried out with the purpose of learning the effects of prohexadione-calcium (P-Ca) on the levels of endogenous gibberellins in tomato saladette (*Lycopersicon esculentum* Mill.) var. Río Grande and bell pepper (*Capsicum annuum* L.) var. Capistrand shoot apex. The growth retardant

was sprayed at three dosages (125, 175 and 200 mg L<sup>-1</sup>) to both vegetables crops when six true leaves appeared in growing seedlings. A control treatment was included in each crop species. Shoots apex were collected at 0, 1, 3 and 6 days after treatments. Results showed that tomato saladette apex sprayed with P-Ca reflected less gibberellins A<sub>4</sub> and A<sub>7</sub> from the first day onwards after treatment. This tendency was similar in bell pepper samples. The gas chromatography and mass spectrometry analysis allowed to identify gibberellin A<sub>20</sub> in tomato, and gibberellins A<sub>20</sub> and A<sub>53</sub> in bell pepper samples from P-Ca treated plants. The gibberellins A<sub>1</sub>, A<sub>4</sub> and A<sub>7</sub> were detected in control samples. In the second phase, a study was conducted with the purpose of learning the effects of prohexadione-ca (P-Ca) on vegetative, reproductive and postharvest parameters, the total antioxidant and lycopene content as well as the enzymatic activity in plants and during fruit ripening in tomato Floradade. The growth retardant was sprayed to experimental plants in one or/and in two occasions. The first application was done when plants had reached 50% blossom; whereas, the second one was performed two weeks after. The concentration dosages of P-Ca were control, 125, 175 and 200 mg L<sup>-1</sup>. The height of the plant was reduced remarkably with the applications of P-Ca, showing a noticeable reduction in the height as the dosage is increased. P-Ca increased the number of clusters and fruits by plant. The firmness in the fruit was increased by effect of the retardant. The number of flowers, percentage of fruit set, diameter of the stem, number of nudes, production by plant and the radius of the fruit did not show an effect before the applications of P-Ca. The fresh and dry weight of the plant, the total soluble solids and weight of the fruit were reduced by effect of P-

Ca. The results showed that any treatment with P-Ca increased the total antioxidant capacity in evaluated fruits at different stages of fruit ripening. The content of lycopene showed a remarkable increment in ripen fruits harvested from plants which have received the P-Ca applications. The activity of catalase and peroxidase also increased in these tomato fruits treated with the growth retardant.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

	PÁGINA
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
Objetivos	4
Hipótesis	5
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>	6
Generalidades del cultivo de tomate	6
Requerimientos climatológicos y edáficos del cultivo de tomate	6
Estructura del fruto de tomate	8
Maduración del fruto de tomate	8
La pigmentación del fruto de tomate durante su maduración	9
Biorreguladores del crecimiento	10
Retardantes del crecimiento	10
Prohexadiona de calcio	11
Mecanismo de acción del prohexadiona de calcio	13
Metabolismo de prohexadiona de calcio	13
Propiedades toxicológicas y ecotoxicológicas de P-Ca	14
Absorción y translocación de prohexadiona de calcio	14
Perspectivas de prohexadiona de calcio	14
Antioxidantes	14
Radical libre	15

Producción de radicales libres en seres vivos	15
El sistema antioxidante en plantas	16
Licopeno en el fruto de tomate	17
Licopeno como antioxidante	18
Peroxidasa	18
Catalasa	20
<b>PRIMER ARTÍCULO:</b> Prohexadiona de calcio disminuye el contenido de giberelinas endógenas en ápices de tomate saladette y chile pimiento.	21
<b>SEGUNDO ARTÍCULO:</b> Respuesta vegetativa, reproductiva y postcosecha del tomate a prohexadiona de calcio.	41
<b>TERCER ARTÍCULO:</b> Prohexadiona de calcio incrementa el contenido de licopeno y actividad enzimática durante la maduración del fruto en tomate.	64
<b>CONCLUSIONES GENERALES</b>	89
<b>LITERATURA CITADA</b>	90
<b>ÍNDICE DE FIGURAS ARTÍCULO 1</b>	
<b>FIGURA 1.</b> Contenido endógeno de giberelinas en ápices de tomate saladette var. Río Grande a diferentes días después de la aplicación de P-Ca.	30
<b>FIGURA 2.</b> Contenido endógeno de giberelinas en ápices de chile pimiento var. Capistrand a diferentes días después de la aplicación de P-Ca.	31

## ÍNDICE DE FIGURAS ARTÍCULO 2

<b>FIGURA 1.</b> Altura de la planta de tomate variedad Floradade después de ser tratada con prohexadiona de calcio.	52
--	----

## ÍNDICE DE FIGURAS ARTÍCULO 3

<b>FIGURA 1.</b> Capacidad antioxidante equivalente a Trolox en frutos de tomate bola variedad Floradade provenientes de plantas tratadas con prohexadiona de calcio.	73
---	----

<b>FIGURA 2.</b> Contenido de licopeno en frutos de tomate bola variedad Floradade provenientes de plantas tratadas con prohexadiona de calcio.	76
---	----

<b>FIGURA 3.</b> Actividad catalasa en frutos de tomate bola variedad Floradade provenientes de plantas tratadas con prohexadiona de calcio.	80
--	----

<b>FIGURA 4.</b> Actividad peroxidasa en frutos de tomate bola variedad Floradade provenientes de plantas tratadas con prohexadiona de calcio.	82
--	----

## ÍNDICE DE CUADROS ARTÍCULO 1

<b>CUADRO 1.</b> Giberelinas presentes en ápices de tomate saladette var, Río Grande.	33
---	----

<b>CUADRO 2.</b> Giberelinas presentes en ápices de chile pimiento var, Capistrand.	34
---	----

## ÍNDICE DE CUADROS ARTÍCULO 2

<b>CUADRO 1.</b> Efecto de prohexadiona de calcio sobre parámetros	
--	--

vegetativos y reproductivos en plantas de tomate bola variedad Floradade.	49
<b>CUADRO 2.</b> Efecto de prohexadiona de calcio en la biomasa de plantas de tomate bola variedad Floradade.	54
<b>CUADRO 3.</b> Efecto de prohexadiona de calcio en la producción y parámetros de calidad en el fruto de tomate bola variedad Floradade.	56

## INTRODUCCIÓN

En 1954, la doctora Rebeca Gerschman, sugirió por primera vez que los radicales libres eran agentes tóxicos y generadores de enfermedades. De igual modo, describió a los radicales libres como moléculas que en su estructura atómica presentan un electrón impar en la orbita externa y una configuración espacial que genera una alta inestabilidad (Del Río *et al.*, 2002).

A partir de la molécula de oxígeno gaseoso ( $O_2$ ) se forman los siguientes reactivos:  $O_2^-$  anión superóxido,  $H_2O_2$  peróxido de hidrógeno,  $HO^-$  anión hidroxilo. Estas moléculas tóxicas son moléculas dañadas a las cuales les falta un electrón. Pero los tejidos tienen también numerosas enzimas que eliminan rápidamente esos radicales libres, en especial peroxidasas, catalasas y superóxido dismutasas, evitando así un efecto sobre estos tejidos (Mittler, 2002).

En los tejidos se forman continuamente radicales libres a partir del oxígeno molecular disuelto, como parte de la función normal de las células, y debido a que la molécula radical libre necesita todos sus electrones, reacciona con cualquier otra a la cual le puede sustraer un electrón. Al actuar sobre algunos



componentes importantes de las células, como moléculas de grasa, proteínas o ADN, los radicales libres las dañan (Mittler, 2002).

Los antioxidantes poseen 2 mecanismos principales, pueden ser mecanismos enzimáticos, llamados antioxidantes endógenos que incluyen a las enzimas superóxido dismutasa, catalasa, glutatión peroxidasa, glutatión y la coenzima Q, o los antioxidantes exógenos, que ingresan al organismo por la vía de los alimentos. Cuando llegan a las células, se depositan en sus membranas y las protegen de la lipoperoxidación. Tal es el caso de las vitaminas E y C, y del caroteno. A diferencia de los antioxidantes enzimáticos, estos otros reaccionan con los radicales libres y modifican su estructura, es decir, los capturan o neutralizan, y se oxidan en el proceso. Finalmente, algunos metales, como selenio, cobre, zinc y magnesio, que en ocasiones forman parte de la estructura molecular de las enzimas antioxidantes, también son fundamentales en este mecanismo de protección celular (Benavides, 2002).

Son varios los estudios clínicos y epidemiológicos que indican que la ingesta diaria de frutas y verduras previenen enfermedades degenerativas asociadas con la edad (cáncer, arteriosclerosis, diabetes, enfermedades respiratorias, daño al hígado, artritis reumatoide, cataratas, enfermedades inflamatorias del intestino, desordenes del sistema nervioso central, mal de parkinson (Devasagayam *et al.*, 2004)).

De tal modo, que han surgido por iniciativa gubernamental programas que tratan de promover aumentos en el consumo de frutas y verduras en la población, tal es el caso de cinco frutas y verduras por día, el motivo, incrementar de manera indirecta la ingesta diaria de fitoquímicos con capacidad antioxidante, y de esta manera tener una población mas saludable. En este rubro, la ciencia ha enfocado esfuerzos en lograr frutas y hortalizas con un mayor contenido de antioxidantes, apostando a la ingeniería genética, manipulación ambiental y a la utilización de sustancias (promotores de oxidación controlada) que de algún modo provocan este efecto benéfico en los frutos (Benavides, 2002).

Recientemente se ha reportado a prohexadiona de calcio como un retardante del crecimiento en varios cultivos, y son varios los investigadores que han hipotetizado la idea de que prohexadiona de calcio podría tener un efecto en la actividad antioxidante de frutas y hortalizas (Rademacher, 2000; Gosch *et al.*, 2003; Roemmelt *et al.*, 2003a; Roemmelt *et al.*, 2003b). Se ha comprobado, que impacta en 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 (enzimáticos y no enzimáticos) se plantean los siguientes objetivos e hipótesis.

## OBJETIVOS

Determinar e identificar el contenido de giberelinas endógenas en ápices de plántulas de tomate saladette y chile pimiento al aplicar prohexadiona de calcio.

Evaluar los efectos de P-Ca en el crecimiento y desarrollo hortícola en plantas de tomate bola variedad Floradade.

Evaluar los efectos de prohexadiona de calcio en parámetros postcosecha del fruto de tomate bola variedad Floradade.

Evaluar la capacidad antioxidante total y contenido de licopeno en frutos de tomate bola (*Lycopersicon esculentum* Mill) en dos estadios de maduración con tres dosis de prohexadiona de calcio y un testigo, con una y dos aplicaciones.

Estudiar el efecto de prohexadiona de calcio sobre la actividad de las enzimas peroxidasa y catalasa en frutos de tomate.

## **HIPÓTESIS**

Prohexadiona de calcio modifica el contenido endógeno de giberelinas en ápices de plántulas de tomate saladette y chile pimiento.

Prohexadiona de calcio modifica parámetros hortícolas, reproductivos y postcosecha en plantas y frutos de tomate bola variedad Floradade.

Prohexadiona de calcio modifica la capacidad antioxidante total, el contenido de licopeno, la actividad de las enzimas peroxidasa y catalasa en frutos de tomate bola variedad Floradade.

## **REVISIÓN DE LITERATURA**

### **Generalidades del cultivo de tomate**

El tomate es una hortaliza nativa de América tropical, cuyo origen se localiza en Sudamérica, concretamente en la región de los Andes donde se encuentra la mayor variabilidad genética y abundancia de tipos silvestres. Pertenece a la familia de las solanáceas y su nombre científico es *Lycopersicon esculentum* Mill. El tomate es una planta perenne de porte arbustivo que se cultiva como anual. Puede desarrollarse de forma rastrera, semirrecta o erecta.

Existen variedades de crecimiento limitado (determinadas) y de crecimiento ilimitado (indeterminadas). En los cultivares de crecimiento determinado las inflorescencias se alternan con una ó dos hojas (Nisen et al., 1990). Su fruto es una baya bi o plurilocular que puede alcanzar un peso que oscila entre unos pocos miligramos y 600 gramos.

### **Requerimientos climatológicos y edáficos del cultivo de tomate**

En tomate, la temperatura influye en la distribución de asimilados. Durante la fase de crecimiento vegetativo una temperatura mayor a 25 °C favorece el

crecimiento foliar a expensas del ápice, mientras que a una temperatura menor de 15 °C ocurre lo contrario. La temperatura ideal para su desarrollo fluctúa entre los 22 a 30 °C, para floración es de 21 °C. cuando se presentan altas temperaturas, mayores a 38 °C antes de la antesis, hay poco amarre de fruto y si estas temperaturas prevalecen de uno a tres días posteriores a la antesis el embrión es destruido (Valadez, 1998).

Además, el tomate requiere entre ocho y 16 horas de iluminación, poca iluminación reduce la fotosíntesis neta, e implica mayor competencia por los productos asimilados, con incidencia en el desarrollo y producción (Nuez, 2001).

La humedad relativa óptima oscila entre un 70 y 80 %. Valores superiores al 90 % favorece el desarrollo de enfermedades aéreas, el agrietamiento del fruto y dificultan la fecundación. Una humedad relativa baja dificulta la fijación del polen al estigma de la flor (Nuez, 2001).

Para un buen desarrollo del cultivo se requiere que el suelo sea profundo, permeable y con abundancia de materia orgánica. El tomate es tolerante a la acidez, con valores de pH que van desde 5 hasta 6.8. Se clasifica como medianamente tolerante a la salinidad, teniendo valores máximos de 6,400 partes por millón (Valadez, 1998).

### **Estructura del fruto de tomate**

El fruto del tomate está constituido, básicamente por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas.

El pericarpio lo componen la pared externa, las paredes radiales o septos que separan los lóculos y la pared interna o colmuela. Se origina de la pared del ovario y consta de un exocarpo o piel, un mesocarpo parenquimático con haces vasculares y el endocarpo constituido por una capa unicelular que rodea a los lóculos (Nuez, 2001).

### **Maduración del fruto de tomate**

En el fruto del tomate, la respiración desciende de forma continua durante el crecimiento y desarrollo para llegar a un mínimo preclimático, poco después del principio de la maduración. Al iniciarse la maduración la respiración aumenta hasta alcanzar un máximo conocido como pico climatérico para descender posteriormente. Simultáneamente al aumento en la respiración se produce un brusco aumento en la producción de etileno el cual tiene una marcada influencia en el desarrollo del proceso de maduración (Brady, 1987; Nuez, 2001).

Durante la maduración del tomate se producen cambios importantes en el color, la composición de aroma, sabor y textura, que hacen en su conjunto, un fruto atractivo para el consumo humano. Así mismo, se produce una degradación de la pared celular y algunos componentes cloroplásticos se

desintegran, simultáneamente se produce la formación de cromoplastos. La membrana plasmática permanece intacta y la actividad mitocondrial en el citoplasma mantiene plenamente su funcionamiento hasta la senescencia. Así pues, la mayor parte de las membranas celulares conservan su integridad hasta la completa madurez del fruto (Brady, 1987). También se producen aumentos en la actividad de una serie de enzimas como la ACC sintasa, ACC oxidasa, poligacturonasa, fitoeno sintasa, enzima málico y de las hidrolasas de la pared celular (Brady, 1987).

### **La pigmentación del fruto de tomate durante su maduración**

El color verde de los tomates inmaduros se debe a la clorofila. Con el inicio de la maduración los cloroplastos empiezan a transformarse en cromoplastos, inicialmente en el tejido placentario gelatinoso que rodea las semillas y luego en el pericarpio desde la zona distal hacia el pedúnculo. La clorofila comienza a degradarse y se sintetizan los pigmentos amarillos, principalmente xantofilas y  $\beta$ -caroteno que se hacen mas aparentes con la progresiva destrucción de la clorofila. Posteriormente aunque continua la síntesis de dichos compuestos, el tomate adquiere una coloración roja debido a la rápida acumulación de licopeno. Otros carotenoides como el fitoeno, fitoflueno y  $\gamma$ -caroteno ausentes en frutos verdes se acumulan durante la maduración (Polder *et al.*, 2004).



## **Biorreguladores del crecimiento**

El desarrollo normal de una planta depende de la interacción de factores externos: luz, nutrientes, agua y temperatura e internos: hormonas. Una definición global del termino hormona es considerar bajo este nombre a cualquier producto químico, de naturaleza orgánica, que sirve de mensajero y que, producido en una parte de la planta, tiene como "blanco" otra parte de ella. Las plantas tiene cinco clases de hormonas (auxinas, citocininas, giberelinas, etileno y ácido absísico ). Mientras que cada fitohormona ha sido implicada en un arreglo relativamente diverso de papeles fisiológicos dentro de las plantas y secciones cortadas de éstas, el mecanismo preciso a través del cual funcionan no es aún del todo conocido. Las hormonas y las enzimas cumplen funciones de control químico en los organismos multicelulares.

El término "substancias reguladoras del crecimiento" es más general y abarca a las substancias tanto de origen natural como sintetizadas en laboratorio que determinan respuestas a nivel de crecimiento, metabolismo ó desarrollo en la planta (Weaver, 1996; Jankiewicz, 2003).

## **Retardantes del crecimiento**

Los inhibidores constituyen un grupo bastante distinto entre las sustancias reguladoras del crecimiento de las plantas, que inhiben o retrasan el proceso fisiológico o bioquímico de los vegetales. De acuerdo con sus propiedades

fisiológicas, algunos inhibidores endógenos parecen ser hormonas vegetales. Diversos inhibidores naturales pueden tener diferentes acciones; por ejemplo, pueden ser inhibidores del crecimiento, de las auxinas, de las giberelinas, o bien, de la germinación (Jankiewicz, 2003).

En los últimos años se han descubierto nuevos tipos de compuestos químicos orgánicos, los retardantes del crecimiento de las plantas, los cuales retrasan la división y crecimiento celular en tejidos de brotes, regulando de esta forma, la altura de las plantas, de manera fisiológica, sin provocar malformaciones en las hojas o en los tallos (Weaver, 1996). Estos compuestos, también intensifican el color verde del follaje y afectan directamente a la floración. El crecimiento de las plantas tratadas con retardantes del crecimiento no se suprime por completo (Salisbury y Ross, 1994; Srivastava, 2001; Jankiewicz, 2003).

### **Prohexadiona de calcio**

Bas 125W (nombres comerciales Apogee, Regalis, Baseline) es el código experimental para el regulador del crecimiento vegetal prohexadiona de calcio (nombre común propuesto por la organización internacional para la estandarización) o Prohexadiona-Ca en forma abreviada o calcio 3-oxido-4-propionil-5-oxo-3-ciclohexano-carboxilato como su nombre químico sistemático (Rademacher, 2000).

Otros códigos para este ingrediente activo incluyen BX-112, KIM112 y BAS9054W. El ingrediente activo, prohexadiona de calcio (P-CA) es patentado por Kumiai Chemical Industry Co. Obteniendo su registro para el control del crecimiento en arroz (*Oriza sativa* L.) en Japón. Prohexadiona de calcio se esta desarrollando para su registro en los estados unidos para emplearlo en manzano (*Malus \* domestica* Bork.) y cacahuate (*Arachis hypogaea*) por la BASF Corp; y en muchos países europeos por BASF AG para emplearlo en granos pequeños y manzanos (Evans *et al.*, 1999).

Aplicaciones foliares de BAS 125W en rangos de 125 a 250 mg L<sup>-1</sup> de ingrediente activo han proporcionado típicamente un control efectivo en el crecimiento vegetativo de manzanos. Generalmente, como el vigor vegetativo de los árboles incrementa, el rango necesario de prohexadiona de calcio para un efectivo control vegetativo tiene que ser el máximo. El vigor vegetativo es influenciado por numerosos factores incluyendo la carga de frutos, especie, localización, variedad, porta injerto, edad, poda, y sistema de formación (Evans *et al.*, 1999).

El aplicar prohexadiona de calcio cuando el crecimiento nuevo esta entre los cinco y los 10 centímetros ha proporcionado los mas efectivos controles de crecimiento en comparación con las aplicaciones al crecimiento nuevo excede los 10 centímetros (Ramírez *et al.*, 2003; Byers *et al.*, 2004; Costa *et al.*, 2004; Ramírez *et al.*, 2005; Ramírez *et al.*, 2006).

Mecanismo de acción del prohexadiona de calcio. Prohexadiona de calcio inhibe la biosíntesis de las giberelinas biológicamente activas del crecimiento, por eso, reduce longitudinalmente el crecimiento de los brotes (Nakayama *et al.*, 1990; Nakayama *et al.*, 1992). La estructura de prohexadiona de calcio es similar al ácido 2-oxoglutarico que es el co-sustrato para diogenasas, catalizando hidroxilaciones envueltas en estadios tardíos (Rademacher, 2000). El blanco primario de prohexadiona-Ca al parecer es 3 $\beta$  hidroxilación, en consecuencia, sus aplicaciones reducen los niveles de AG<sub>1</sub> (altamente activa) y causa acumulación de su inmediato precursor AG<sub>20</sub> inactiva (Nakayama *et al.*, 1990; Rademacher, 2000). En relación a las diogenasas envueltas en el metabolismo de los flavonoides, pueden ser afectadas en algunos puntos por prohexadiona-Ca y compuestos relacionados (Evans *et al.*, 1999).

Metabolismo de prohexadiona de calcio. Prohexadiona-Ca se degrada en plantas superiores con un tiempo de vida promedio de pocas semanas, después de la desactivación y ocurriendo naturalmente el desdoblamiento del anillo en propano-1,2,3 ácido tricarboxilico es formado, que se incorpora a la matriz de la planta. En el suelo Prohexadiona-Ca se descompone mayormente en CO<sub>2</sub> con una vida media menor de los siete días. En el agua prohexadiona-Ca se degrada por fotólisis a CO<sub>2</sub> y otros productos naturales. En mamíferos prohexadiona-Ca es rápidamente absorbido y secretado. No ha sido observado acumulaciones en tejidos de mamíferos (Evans *et al.*, 1999).

Propiedades toxicológicas y ecotoxicológicas de prohexadiona de calcio. Tiene un LD<sub>50</sub> oral de más de 5,000 mg kg<sup>-1</sup> y un LD<sub>50</sub> dermal de más de 2,000 mg kg<sup>-1</sup>. El material no es mutagénico, cancerígeno o teratogénico. Prohexadiona-Ca no tiene efectos negativos en pájaros, peces, abejas o microorganismos del suelo (Evans *et al.*, 1999).

Absorción y translocación de prohexadiona de calcio. Prohexadiona de calcio se absorbe por el follaje del manzano, requiriendo para su máxima absorción un mínimo de ocho horas, y es translocado acropetalamente a los puntos de crecimiento de los brotes individuales, posee movimientos basipetalos mínimos. Típicamente, únicamente los brotes tratados son afectados en su crecimiento. Prohexadiona-Ca no permanece en la planta o afecta directamente en el crecimiento vegetativo de la siguiente estación (Evans *et al.*, 1999).

Perspectivas de prohexadiona de calcio. Las propiedades conocidas actualmente de prohexadiona de calcio, lo ubican como un nuevo retardante del crecimiento de uso prometedor en la producción frutícola (Costa *et al.*, 2004).

### **Antioxidantes**

Son aquellas sustancias que presentes a bajas concentraciones respecto a las de un sustrato oxidable (biomoléculas) retarda o previene su oxidación. El antioxidante, al chocar con el radical libre cede un electrón, se oxida y se transforma en un radical libre débil no tóxico (Prior y Cao, 2000; Klein y Kurilich, 2000).

## **Radical libre**

Es una molécula (orgánica o inorgánica), en general extremadamente inestable y, por tanto, con gran poder reactivo. Actúan alterando a las membranas celulares y atacando el material genético de las células, como el ADN. Los radicales libres tienen una configuración electrónica de capas abiertas por lo que llevan al menos un electrón desaparejado que es muy susceptible de crear un enlace con otro átomo o molécula. Desempeñan una función importante en la combustión, en la polimerización dentro de las células y en otros procesos químicos (Mittler, 2002).

### **Producción de radicales libres en seres vivos**

Los radicales libres se producen en la respiración con la presencia de oxígeno que aunque es imprescindible en la vida celular de nuestro organismo, también se producen estas moléculas reactivas, que provocan a lo largo de la vida efectos negativos para la salud debido a su capacidad de alterar el ADN (los genes), las proteínas y los lípidos o grasas ("oxidación"). En nuestro cuerpo existen células que se renuevan continuamente como las células de la piel, del intestino, y otras que no, como las células del hígado y las neuronas. En el transcurso de los años, los radicales libres pueden producir una alteración genética sobre las células que se dividen continuamente contribuyendo a aumentar el riesgo de cáncer por mutaciones genéticas o bien, disminuyen la

funcionalidad de las células que no se dividen tanto, disminuyendo el número de mitocondrias, que es característico del envejecimiento (Vranová *et al.*, 2002).

Estos radicales recorren nuestro organismo intentando robar un electrón de las moléculas estables, con el fin de alcanzar su estabilidad electroquímica (Mittler, 2002). Una vez que el radical libre ha conseguido robar el electrón que necesita para aparear su electrón libre, la molécula estable que se lo cede se convierte a su vez en un radical libre, por quedar con un electrón desapareado, iniciándose así una verdadera reacción en cadena que destruye nuestras células. La vida biológica media del radical libre es de microsegundos; pero tiene la capacidad de reaccionar con todo lo que esté a su alrededor provocando un gran daño a las moléculas y a las membranas celulares. Los radicales libres no son intrínsecamente malos. De hecho, nuestro propio cuerpo los fabrica en cantidades moderadas para luchar contra bacterias y virus. Los radicales libres producidos por el cuerpo para llevar a cabo determinadas funciones son neutralizados fácilmente por nuestro propio sistema. Con este fin, nuestro cuerpo produce unas enzimas (como la catalasa o la dismutasa) que son las encargadas de neutralizarlos. Estas enzimas tienen la capacidad de desarmar los radicales libres sin desestabilizar su propio estado (Mittler, 2002).

### **El sistema antioxidante en plantas**

Las plantas han desarrollado mecanismos de protección enzimáticos y no enzimáticos que atrapan e inactivan eficientemente las especies activas de

oxígeno (EAO) (Pastori y Foyer, 2002). El sistema antioxidante de las plantas consiste de enzimas (antioxidantes endógenos), las cuales son capaces de remover, secuestrar o neutralizar las especies activas de oxígeno como lo son la catalasa, la superóxido dismutasa y peroxidasa; y de componentes de bajo peso molecular (péptidos, vitaminas, flavonoides, ácidos fenólicos, alcaloides, etc.) (Benavides, 2002).

Los fitoquímicos son metabolitos secundarios por que no ejercen una función directa en las actividades del organismo vegetal como el crecimiento o la reproducción y constituyen numerosos componentes químicos, como son: los carotenoides (licopeno,  $\beta$ -caroteno, luteína, etc.), los polifenoles (lignanos, ácidos fenólicos, taninos, flavonoides, etc.). Y no tan solo estas sustancias poseen propiedades antioxidantes, si no también lo son ciertas vitaminas como es el caso de la C, E y A (Ibave, 2005).

### **Licopeno en el fruto de tomate**

En el tomate maduro, el carotenoide mayoritario es el licopeno, que lo contiene aproximadamente en un 83 %, seguido por el  $\beta$ -caroteno con un porcentaje que oscila entre 3 y 7 %. El licopeno es uno de los primeros carotenoides que aparecen en la síntesis de este tipo de compuestos, constituyendo la base molecular para la síntesis de los restantes carotenoides. El licopeno es un carotenoide de estructura sencilla con una cadena alifática formada por cuarenta átomos de carbono, con formula empírica de  $C_{40}H_{56}$  y un



peso molecular de 537.85, se encuentra en concentraciones de  $20 \text{ mg Kg}^{-1}$  de tomate fresco (Jean y Regina, 1990). El contenido de licopeno aumenta con la maduración del fruto y puede presentar grandes cambios según la variedad, condiciones del cultivo y tipo de almacenamiento. De forma general, el contenido de licopeno es menor en frutos que se recolectan verdes y maduran en almacén en comparación con los frutos madurados en planta (Bajaj *et al.*, 1990).

### **Licopeno como antioxidante**

El licopeno es considerado como un magnifico antioxidante por que reduce considerablemente el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares, cáncer de próstata, otros estudios sugieren que el licopeno juega un papel importante en la reducción del cáncer de colón, recto y mama (Di mascto *et al.*, 1989).

### **Peroxidasa**

Prácticamente todas las peroxidasas son hemoproteínas (excepción notable es la glutatión peroxidasa, que es una selenoproteína) y tienen como sustrato común el  $\text{H}_2\text{O}_2$  o peróxido de hidrógeno. La gran afinidad por este sustrato hace que se pueda unir al hierro del grupo hemo por los dos planos del centro activo, el superior y el inferior, dando lugar a una inhibición por exceso de sustrato ya que cuando ambas posiciones están ocupadas por el peróxido

de hidrógeno no es posible la unión del otro sustrato (Foyer *et al.*, 1997). Respecto a ese otro sustrato, su naturaleza y estructura química puede ser muy distinta, tanto si nos referimos a los oxidados "in vivo" como si lo hacemos a los que se emplean "in vitro" con objeto de detectar esta actividad enzimática. Entre ellos se incluyen fenoles, aminas aromáticas, moléculas orgánicas complejas como el ABTS (catión radical 2,2- Azinobois- (3- etilbenzotiazolin-6-sulfonato)), o el ioduro y el glutatión antes citados. Esta pobre especificidad para el sustrato reductor hace que la afinidad sea también pequeña (Miller *et al.*, 1993).

Las ascorbato peroxidasas (APXs) son las mas importantes enzimas atrapadoras de  $H_2O_2$  que operan tanto en el citosol como en el cloroplastos. Estas enzimas usan el ácido ascórbico como sustrato reductor y forman parte de un ciclo, conocido como el ciclo del ascorbato-glutation o Halliwell-Asada (Shigeoka *et al.*, 2002). La expresión génica de ascorbato peroxidasa es rápidamente inducida por varias condiciones de estrés, como la aplicación de paraquat, ácido absísico, sequía y alta temperatura, sugiriendo un papel importante en la tolerancia al estrés del tipo abiótico y xenobiotico (Benavides, 2002). En vegetales, es de destacar a la peroxidasa de rábano, que tiene grandes aplicaciones en técnicas inmunoquímicas y de diagnóstico clínico debido a su gran estabilidad, facilidad de conjugación y sencillez para detectarla por métodos colorimétricos utilizando un gran número de reactivos. Otras peroxidasas, como la glutatión peroxidasa, está ampliamente distribuida

en diversos tejidos con fines diferentes, pero relacionados con una función antioxidante (Pastori y Foyer, 2002).

### **Catalasa**

Es una enzima con un grupo prostético hemo que cataliza la dismutación del peróxido de hidrógeno en agua y oxígeno (Del Río *et al.*, 2002), se encuentra en todos los eucariotas aerobios y es importante en la remoción del peróxido de hidrógeno generado durante el ciclo del glioxilato en la fotorespiración, la  $\beta$ -oxidación de lípidos en los peroxisomas y el catabolismo de la purina. Las catalasas son tetrámeros de peso molecular mayor a 220,000 (Acevedo y Scandios, 1991).

**PROHEXADIONA DE CALCIO DISMINUYE EL CONTENIDO DE  
GIBERELINAS ENDÓGENAS EN ÁPICES DE TOMATE SALADETTE Y  
CHILE PIMIENTO**

H. Ramírez<sup>1¶</sup>; B. Herrera-Gómez<sup>1</sup>; Y. H. Méndez-Quiroa<sup>1</sup>; A. Benavides-Mendoza<sup>1</sup>; J. A. De la cruz-Breton<sup>2</sup>; V. Álvarez-Mares<sup>3</sup>; J. H. Rancaño-Arriola<sup>1</sup>; J. A. Villarreal-Quintanilla<sup>4</sup>.

<sup>1</sup>Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Correo-e: homeror@terra.com.mx (¶Autor responsable).

<sup>2</sup>Departamento de Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

<sup>3</sup>Impulsora Agropecuaria e Insumos para Invernaderos. Saltillo, Coahuila, México.

<sup>4</sup>Departamento de Botánica, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

**RESUMEN**

Con el propósito de evaluar el efecto de prohexadiona de calcio (P-Ca) en el contenido endógeno de giberelinas en ápices de tomate saladette (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y chile pimiento (*Capsicum annuum* L.), se aplicaron 3 dosis del retardante (125, 175 y 200 mg·litro<sup>-1</sup>) y un testigo (H<sub>2</sub>O) en ambas hortalizas en el estadio de plántula con seis hojas verdaderas. Los ápices se cosecharon los días 0, 1, 3 y 6 después de haber realizado la aplicación de los tratamientos, las muestras se liofilizaron para su análisis en laboratorio. Se realizaron análisis cuantitativo y cualitativo de giberelinas, mediante cromatografía de gases y espectrometría de masas. Se encontró que

los ápices de tomate saladette tratados con P-Ca mostraron un menor contenido de las giberelinas A<sub>4</sub> y A<sub>7</sub> a partir del siguiente día de haberse aplicado los tratamientos. Esta tendencia fue consistente hasta el sexto día de evaluación. Resultados similares se registraron con los ápices de chile pimiento. Los análisis de cromatografía de gases y espectrometría de masas, permitieron identificar en ápices tratados con P-Ca la giberelina A<sub>20</sub> en tomate saladette, mientras que las giberelinas A<sub>20</sub> y A<sub>53</sub> estuvieron presentes en chile pimiento. En los ápices testigo de ambas hortalizas, se encontraron las giberelinas A<sub>1</sub>, A<sub>4</sub> y A<sub>7</sub>.

**Palabras clave adicionales:** *tomate, chile pimiento, giberelinas, hormonas.*

**PROHEXADIONE-CALCIUM DECREASES THE CONTENT OF  
ENDOGENOUS GIBBERELLINS IN SHOOT APEX OF TOMATO SALADETTE  
AND BELL PEPPER**

**SUMMARY**

This study was conducted with the purpose of learning the effects of prohexadione-calcium (P-Ca) in the levels of endogenous gibberellins in tomato saladette (*Lycopersicon esculentum* Mill.) and bell pepper (*Capsicum annuum* L.) shoot apex. Growth retardant was sprayed at three dosages (125, 175 and 200 mg·liter<sup>-1</sup>) in both vegetables crops when six true leaves appeared in seedlings. A control (H<sub>2</sub>O) was included in each crop species. Shoots apex was collected at 0, 1, 3 and 6 days after treatments, and were later lyophilized. Gas chromatography and mass spectrometry assays was used to determine quantity and quality of gibberellins. Results showed that tomato saladette apex sprayed with P-Ca reflected less gibberellins A<sub>4</sub> and A<sub>7</sub> from the first day on words after treatment. This tendency was similar in bell pepper samples. The GCMS analysis allowed to identify gibberellin A<sub>20</sub> in tomato, and gibberellins A<sub>20</sub> and A<sub>53</sub> in bell pepper samples from P-Ca treated plants. The gibberellins A<sub>1</sub>, A<sub>4</sub> and A<sub>7</sub> were detected in control samples.

**Additional key words:** *tomato, bell pepper, gibberellins, hormones*

## INTRODUCCIÓN

Las hortalizas contribuyen solidamente en la economía de México, ya que se siembran 512, 000 ha de las que se obtienen 8 millones de toneladas. Las exportaciones de estas con volúmenes cercanos a las 600 mil toneladas anuales (Siap, 2000), tienen su destino principal a Estados Unidos y Canadá. Debido a la diversidad de microclimas y tipos de suelos que se tienen en nuestro país, es posible producir hortalizas como tomate y chile durante todo el año, que son productos de mayor consumo a nivel nacional al igual que en otros países.

De los doce productos hortícolas principales en México, se cosechan 2.14 millones de toneladas de tomate y 1.85 millones de toneladas de chile (Infoagro, 2002a y b). Debido a la importancia de estas hortalizas es necesario generar continuamente nuevas formas de manejo de los cultivos para eficientar los rendimientos y ofrecer calidad en los productos. En la actualidad las hormonas vegetales o biorreguladores ofrecen una magnífica oportunidad para mejorar los sistemas de producción hortícolas. El uso de estas sustancias tiene la ventaja de producir efectos que no son permanentes y por lo tanto, de ser modificados de acuerdo a las necesidades del horticultor (Ramírez, 2003).

Los retardantes de crecimiento de las plantas retrasan la división y elongación celular en tejidos de brotes, regulando de esta forma la altura de las plantas, de manera fisiológica, sin provocar malformaciones en las hojas o los tallos (Weaver, 1996; Rademacher, 2000).

En tomate se han utilizado productos como daminozida y cloromequat con acción en la inhibición de la biosíntesis de giberelinas otorgando un porte bajo a las plantas (Rojas y Ramírez, 1987). Sin embargo, Owens y Stover (1999) mencionan que estos productos además del paclobutrazol tienen la desventaja de prolongar su persistencia en las plantas, tienen propiedades toxicológicas y su uso es preocupante.

Prohexadiona de calcio (P-Ca) podría representar una interesante herramienta complementaria para las prácticas culturales y el material genético usado para conseguir y mantener un equilibrio vegetativo-reproductivo en cultivos hortícolas (Costa *et al.*, 2004). Ya que se asume que reduce la elongación celular, teniendo como efecto una reducción de la estructura morfológica de las plantas (Grossmann *et al.*, 1987) siendo antagonista de las giberelinas y auxinas que son las hormonas vegetales primarias responsables del crecimiento vegetativo (Rademacher, 2000).

Por lo anteriormente expuesto, se tiene como objetivo determinar e identificar el contenido de giberelinas endógenas en ápices de tomate saladette y chile pimiento al aplicar prohexadiona de calcio.



## MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se llevó a cabo en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, a 25° 23' latitud Norte y 101° 01' longitud Oeste, con una altitud de 1743 m.

Se sembraron semillas de chile pimiento (*Capsicum annuum* L.) var. Capistrand y tomate saladette (*Lycopersicon esculentum* Mill.) var. Río Grande (crecimiento determinado), ambas en charolas de poliestireno de 200 cavidades cada una, utilizando como sustrato peat moss. La siembra se realizó el 20 de junio de 2005 situando el material de germinación en un invernadero. Se usaron cuatro tratamientos a dosis de 0 (testigo), 125, 175 y 200 mg·litro<sup>-1</sup> de P-Ca. Los tratamientos se aplicaron mediante aspersion el día 25 de junio en las primeras horas de la mañana, cuando las plántulas tenían 6 hojas verdaderas. Las plantas fueron muestreadas los días 0, 1, 3 y 6 después de la aplicación de los tratamientos.

En cada muestreo se cosecharon cinco ápices de ambas hortalizas por cada tratamiento. Las muestras fueron envueltas en papel aluminio, selladas y perfectamente identificadas, se colocaron en hielo y se transportaron al laboratorio para mantenerlas a una temperatura de -25 °C hasta su posterior liofilización antes de su análisis de giberelinas. Se empleó un diseño completamente al azar con los cuatro tratamientos anteriormente referidos con tres repeticiones. Los resultados obtenidos fueron analizados con el programa estadístico SAS para Windows versión 8.1 para obtener el análisis de varianza

y comparación de medias mediante la prueba de DMS ( $P \leq 0.01$ ) y fueron graficados con el programa Minitab versión 14.

## **Análisis de giberelinas**

### **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 Wathman #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.* (2001). Enseguida, las muestras se sometieron a cromatografía de capa fina (CCF) utilizando sílica gel GF254, y como solventes separadores isopropanol-amoniaco-agua (10:1:1) (v:v:v) durante 4 h, a temperatura de 20 °C. Como referencia se utilizó giberelina  $A_{4/7}$  la cual se localizó 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  $70 \mu\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ . La giberelina  $A_{4/7}$  fue utilizada 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  $AG_{4/7}$  diluidos en acetona-metanol (50:50) (v:v).

### **Análisis cualitativo**

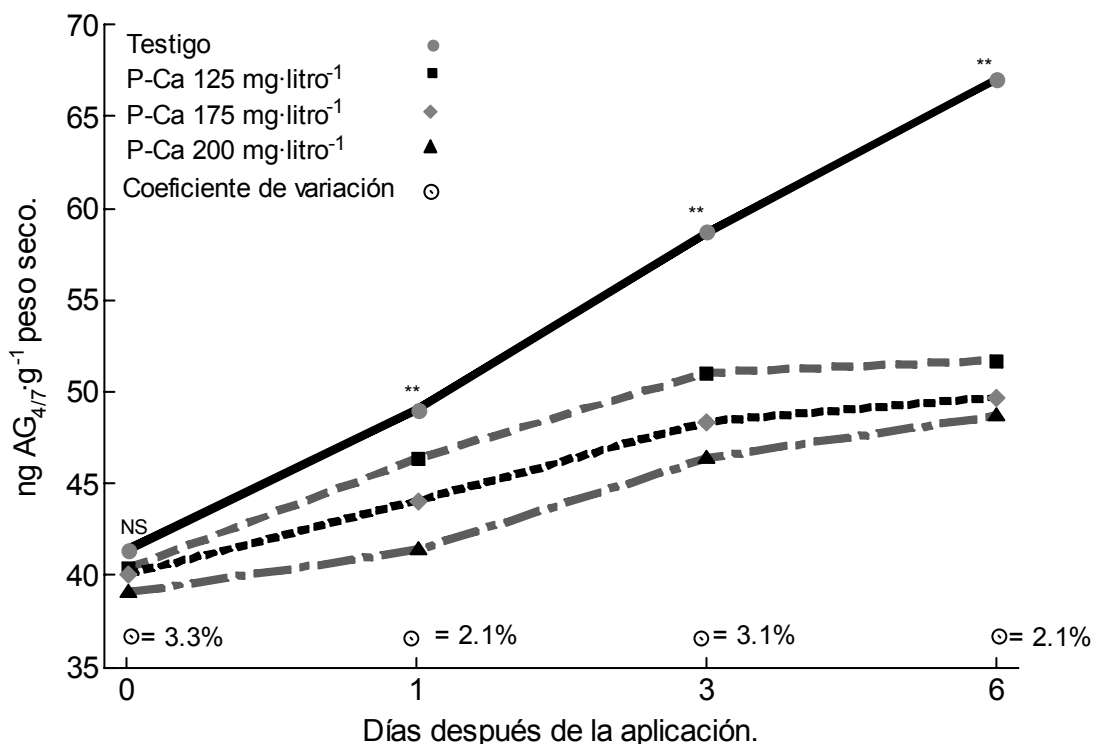
Las muestras de CCF con mayor contenido de giberelinas fueron preparadas para identificar el tipo de giberelinas presentes, utilizando la técnica de cromatografía de gases (CG) y espectrometría de masas (EM). Un gramo de peso seco de la muestra referida fue disuelta en 0.1 ml de acetona (98 %)-metanol (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 Pye 104 CLC acoplado a un espectrómetro de masas AEI MS30. En este equipo se instalaron columnas de vidrio salinizadas (213 x 0.2 cm) con 2 % de Se-33, en 88-100 de gas chorm Q. La proporción de flujo fue de  $25 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$  y la temperatura de la columna fue programada entre 180 a  $280 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $2 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ . La espectrometría de

masas fue determinada a 24 eV en una fuente de temperatura de 190 °C y una velocidad de búsqueda de 6.5 s por década de masas. El espectro fue registrado por una computadora Dec Lin 8. La identificación 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.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El contenido de giberelinas en ápices de tomate saladette var. Río Grande y chile pimienta var. Capistrand se muestran en las Figuras 1 y 2 respectivamente. Se observa entre los testigos de estas especies, que el tomate saladette siempre muestra un mayor contenido de giberelinas biológicamente activas comparándolo con el chile pimienta ( $P \leq 0.01$ ). Esta mayor concentración de giberelinas de acuerdo con Nakayama *et al.* (1992) se vería reflejado en un mayor crecimiento de la especie.

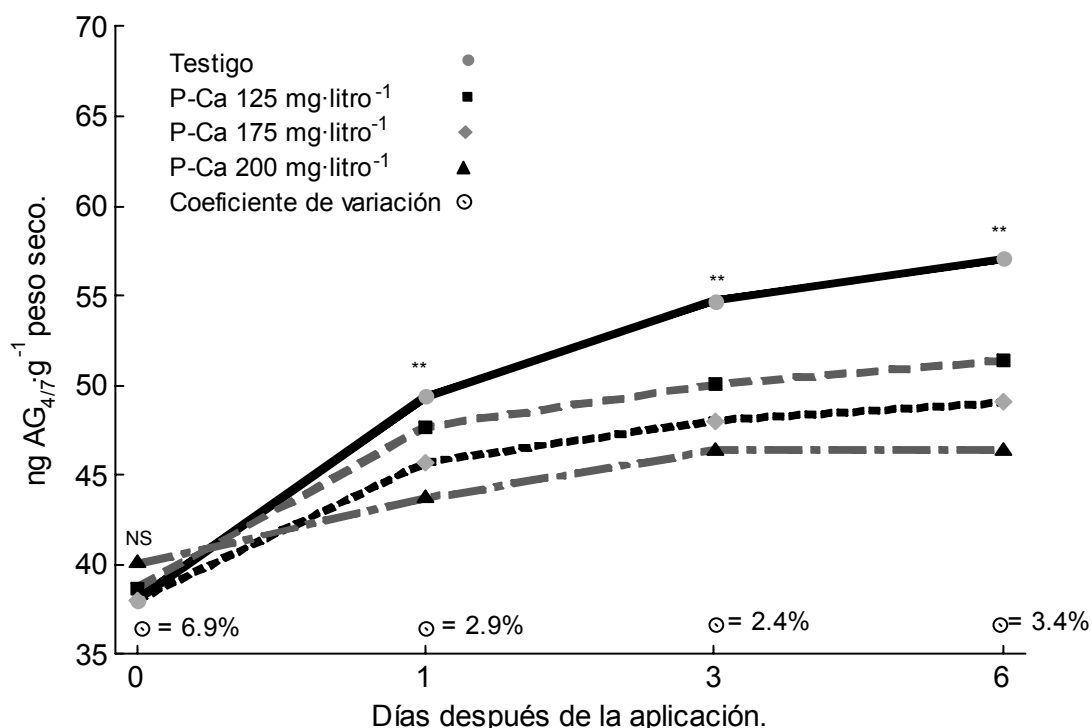
En los ápices de tomate saladette del primer muestreo, realizado inmediatamente después de la aplicación del tratamiento, no se encontró diferencia significativa entre tratamientos con un coeficiente de variación (CV) de 3.3 %, sin embargo el testigo presentó el nivel más alto de giberelinas siendo de 41.3 ng AG<sub>4/7</sub>·g<sup>-1</sup> de peso seco; mientras que los ápices tratados con 200 mg·litro<sup>-1</sup> de P-Ca presentaron un valor de 39.3 ng AG<sub>4/7</sub>·g<sup>-1</sup> de peso seco.



**Figura 1.** Contenido endógeno de giberelinas en ápices de tomate saladette var. Río Grande a diferentes días después de la aplicación de P-Ca. Con prueba DMS a una  $P \leq 0.01$ . NS = no significativo, \*\* = altamente significativo.

Los tratamientos presentaron una diferencia altamente significativa ( $P \leq 0.01$ ) en el muestreo del primer día después de la aplicación de P-Ca con un CV de 2.1 %, donde los niveles de giberelinas en los ápices tratados con P-Ca fueron menores en comparación al testigo. El nivel más bajo de giberelinas se presentó al aplicar 200 mg·litro<sup>-1</sup> de P-Ca, seguido de las dosis 175 y 125 mg·litro<sup>-1</sup> de P-Ca, y por último el testigo, cuyos valores fueron de 41.3, 44.0, 46.3 y 49.0 ng AG<sub>4/7</sub>·g<sup>-1</sup> de peso seco respectivamente. Los valores del día 3 mostraron un CV de 3.1 % y una diferencia altamente significativa ( $P \leq 0.01$ ) en los niveles de giberelinas de cada tratamiento, nuevamente los ápices con aplicaciones de P-Ca presentaron niveles de giberelinas más bajos que el

testigo. El tratamiento que presentó los niveles mas bajos de giberelinas, fue la aplicación de  $200 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$  de P-Ca que presentó un valor de  $46.3 \text{ ng AG}_{4/7}\cdot\text{g}^{-1}$  de peso seco.



**Figura 2.** Contenido endógeno de giberelinas en ápices de chile pimienta

var. Capistrand a diferentes días después de la aplicación de P-Ca. Con prueba DMS a una  $P \leq 0.01$ . NS = no significativo, \*\* = altamente significativo.

Los niveles de giberelinas en el tomate saladette aumentan conforme se desarrolla la planta sin embargo los tratamientos con prohexadiona de calcio mantienen sus niveles de giberelinas por debajo de los que presenta el testigo. En el muestreo del día 6 después de la aplicación de los tratamientos se presenta una diferencia altamente significativa ( $P \leq 0.01$ ), y un CV de 2.1 %. El testigo presentó niveles altos en comparación a los tratamientos con P-Ca. La aplicación de  $200 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$  de P-Ca originó un valor de  $48.7 \text{ ng AG}_{4/7}\cdot\text{g}^{-1}$  de

peso seco; mientras que el testigo mostró un valor de  $67.0 \text{ ng AG}_{4/7} \cdot \text{g}^{-1}$  de peso seco (Figura 1).

Los resultados en los muestreos de los ápices de chile pimiento, fueron similares a los de tomate saladette (Figura 2). El primer muestreo de ápices realizado después de la aplicación de P-Ca, no mostró diferencia entre tratamientos y presentó un CV de 6.9 %, determinando  $38.0 \text{ ng AG}_{4/7} \cdot \text{g}^{-1}$  de peso seco para  $175 \text{ mg} \cdot \text{litro}^{-1}$  de P-Ca y el testigo.

Un día después de la aplicación de P-Ca los ápices seleccionados mostraron un CV de 2.9 % y una diferencia altamente significativa entre tratamientos ( $P \leq 0.01$ ), donde la aplicación de  $200 \text{ mg} \cdot \text{litro}^{-1}$  de P-Ca presentó  $43.7 \text{ ng AG}_{4/7} \cdot \text{g}^{-1}$  de peso seco y el testigo  $49.3 \text{ ng AG}_{4/7} \cdot \text{g}^{-1}$  de peso seco, correspondientes al menor y mayor nivel de giberelinas respectivamente. En la colecta del día 3, los ápices de chile pimiento tratados con P-Ca mantenían sus niveles de giberelinas por debajo del testigo, mostrando también una diferencia altamente significativa entre los tratamientos ( $P \leq 0.01$ ) con un CV de 2.4 %. El menor nivel lo presentaron los ápices tratados con  $200 \text{ mg} \cdot \text{litro}^{-1}$  de P-Ca con un valor de  $46.3 \text{ ng AG}_{4/7} \cdot \text{g}^{-1}$  de peso seco. Los ápices muestreados el día 6 también presentaron diferencia altamente significativa ( $P \leq 0.01$ ) con un CV de 3.4 %.

Los análisis de cromatografía de gases y espectrometría de masas, en ápices tratados con P-Ca, permitieron identificar  $\text{AG}_{20}$  en tomate saladette (Cuadro 1) y  $\text{AG}_{20}$  y  $\text{AG}_{53}$  en chile pimiento (Cuadro 2). En ápices testigo de ambas hortalizas, se encontraron las giberelinas  $A_1$ ,  $A_4$  y  $A_7$  (Cuadros 1 y 2).

**Cuadro 1.** Giberelinas presentes en ápices de tomate saladette var. Río Grande. Las giberelinas fueron identificadas con cromatografía de gases y espectrometría de masas.

<b>Giberelinas</b>	<b>KRI <sup>z</sup></b>	<b>iones principales e intensidad relativa</b>
<b>Testigo</b>		
AG <sub>1</sub>	2651	[506(100), 448(14), 377(15), 375(18)]
AG <sub>4</sub>	2488	[418(21), 403(2), 400(12), 386(25), 284(100)]
AG <sub>7</sub>	2416	[416(10), 193(12), 179(5), 155(13)]
<b>Prohexadiona de calcio</b>		
AG <sub>20</sub>	2468	[418(100), 403(17), 387(6), 375(82), 359(19)]

<sup>z</sup>Índice de retención Kovats.

Ciertos reguladores del crecimiento comerciales que inhiben la elongación del tallo y causan atrofia general tienen este efecto debido en parte a que inhiben la síntesis de giberelinas (Salisbury y Ross, 1994). Prohexadiona de calcio inhibe la biosíntesis de crecimiento activada por giberelinas (Evans *et al.*, 1999), esto corresponde a los resultados obtenidos en los niveles endógenos de giberelinas que presentaron los ápices de tomate saladette y chile pimiento tratados con P-Ca.



**Cuadro 2.** Giberelinas presentes en ápices de chile pimiento var. Capistrand. Las giberelinas fueron identificadas con cromatografía de gases y espectrometría de masas.

<b>Giberelinas</b>	<b>KRI<sup>z</sup></b>	<b>iones principales e intensidad relativa</b>
<b>Testigo</b>		
AG <sub>1</sub>	2651	[506(100), 448(14), 377(15), 375(18)]
AG <sub>4</sub>	2488	[418(21), 403(2), 400(12), 386(25), 284(100)]
AG <sub>7</sub>	2416	[416(10), 193(12), 179(5), 155(13)]
<b>Prohexadiona de calcio</b>		
AG <sub>20</sub>	2468	[418(100), 403(17), 387(6), 375(82), 359(19)]
AG <sub>53</sub>	2813	[448(45), 251(29), 208(92), 193(22)]

<sup>z</sup>Índice de retención Kovats.

No existió diferencia en los niveles de giberelinas en ápices de tomate saladette y chile pimiento muestreados inmediatamente después de la aplicación de los tratamientos (Figuras 1 y 2). Esto pudo deberse a lo mencionado por Evans *et al.* (1999), ya que para una máxima absorción en el follaje, en manzano, P-Ca requiere un mínimo de 8 h.

Ramírez *et al.* (2005), al aplicar diferentes dosis de P-Ca en tomate saladette de crecimiento determinado e indeterminado redujo los niveles de giberelinas en meristemas apicales, esto fundamenta el por que los ápices tratados con P-Ca registraron niveles de giberelinas menores a los registrados por el testigo.

En el presente experimento los niveles de giberelinas de ápices tratados con P-Ca aumentan al transcurrir los días, siempre por debajo de los niveles

presentados por el testigo (Figuras 1 y 2), debido a que el crecimiento de las plantas tratadas con retardantes del crecimiento no se suprime por completo (Weaver, 1996; Sirvastava, 2001; Jankiewicz, 2003). Resultados similares en diferentes cultivos se han obtenido con otros retardantes del crecimiento como cloromequat y paclobutrazol, presentando ambos una prolongada persistencia además de poseer propiedades toxicológicas (Owens y Stovers, 1999). En contraste, P-Ca se degrada en las plantas en un tiempo medio de pocas semanas de vida (Evans *et al.*, 1999).

Ramírez *et al.* (2005), encontraron AG<sub>12</sub> y AG<sub>20</sub> (giberelinas biológicamente inactivas) en ápices de tomate saladette de crecimiento determinado e indeterminado tratados con P-Ca. La aplicación de P-Ca reduce los niveles de AG<sub>1</sub> (altamente activa) y causa acumulación de su inmediato precursor, AG<sub>20</sub> (inactivo) (Nakayama *et al.*, 1990; Junttila *et al.*, 1991; Nakayama *et al.*, 1992; Evans *et al.*, 1999). Esto coincide con los resultados obtenidos en el presente experimento (Cuadros 1 y 2), ya que además de encontrar AG<sub>20</sub> en los ápices de tomate saladette y chile pimiento tratados con P-Ca, también se presentó en chile pimiento AG<sub>53</sub>, ésta es, según Weaver (1996), también una giberelina biológicamente inactiva. La presencia de AG<sub>1</sub> en el testigo está bien sustentada, debido a que hay suficiente evidencia que indica que esta es una de las principales giberelinas necesarias para la elongación del tomate y otras especies (Graebe, 1987; Salisbury y Ross, 1994; Sirvastava, 2001).

Nakayama *et al.* (1992) al aplicar P-Ca en arroz en su estadio fenológico de cuatro hojas verdaderas y cosechar los brotes a los días 5 y 12 después de la

aplicación, encontraron una disminución significativa en los niveles de AG<sub>1</sub> del 36 y 18 % respectivamente. Los niveles de AG<sub>19</sub> y AG<sub>20</sub> se incrementaron, pero los niveles de AG<sub>53</sub> se mantuvieron estables en las plantas tratadas reduciendo el crecimiento en un 78 y 66 % respectivamente con referencia a las plantas testigo.

Estos resultados sugieren que el mecanismo principal de acción de P-Ca *in vivo* es la inhibición de la 3β-hidroxilación de AG<sub>20</sub> a AG<sub>1</sub> (Rademacher, 1993) y soporta la hipótesis que AG<sub>1</sub>, no AG<sub>19</sub> ni AG<sub>20</sub> es activa en promover la elongación de los brotes en arroz. (Nakayama *et al.*, 1990; Nakayama *et al.*, 1992).

Ramírez *et al.* (2006) al aplicar 250 mg·litro<sup>-1</sup> de P-Ca en brotes nuevos de manzano encontraron que disminuía de manera significativa el contenido de giberelinas a partir del día 2 de muestreo hasta el día 17; posteriormente, el contenido de giberelinas en brotes tratados fueron superiores al testigo.

## CONCLUSIONES

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

Prohexadiona de calcio aplicado a dosis de 125, 175 y 200 mg·litro<sup>-1</sup> origina lo siguiente en ápices de brotes:

En tomate saladette disminuye el contenido de giberelinas A<sub>4</sub> y A<sub>7</sub>, y se presenta la giberelina A<sub>20</sub>.

En chile pimiento disminuye el contenido de A<sub>4</sub> y A<sub>7</sub>, y se presentan las giberelinas A<sub>20</sub> y A<sub>53</sub>.

## LITERATURA CITADA

CINTA, G.; ALMAGRO, M.; LLABRÉS, T. M. 2004. Estadística práctica con minitab. Pearson educación, S. A. Madrid, España 448 pp.

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.

EVANS, J. R.; EVANS, R. R.; REGUSCI, C. L.; RADEMACHER, W. 1999. Mode of action, metabolism, and uptake of BAS 125 W, prohexadione-calcium. *HortScience* 34(7): 1200-1201.

GRAEBE, J. E. 1987. Gibberellin biosynthesis and control. *Annual Review of Plant Physiology* 38: 419-465.

GROSSMANN, K.; KWIATKOWSKI, J.; SIEBECKER, H.; JUNG, J. 1987. Regulation of plant morphology by growth retardants. Effects on phytohormone levels in soybean seedlings determined by immunoassay. *Plant Physiology* 84: 1018-1021.

- INFOAGRO. 2002a. <http://www.infoagro.com/hortalizas/tomate.htm> (15 de febrero de 2007).
- INFOAGRO. 2002b. <http://www.infoagro.com/hortalizas/pimiento.htm> (15 de febrero de 2007).
- JANKIEWIEZ, L. 2003. Reguladores del crecimiento, desarrollo y resistencia en plantas. Tomo I. Propiedades y acción. Ediciones Mundi Prensa. México. 487 pp.
- JUNTTILA, O.; JENSEN, E.; ERNSTSEN, A. 1991. Effects of prohexadione (BX-112) and gibberellins on shoot growth in seedlings of *Salix pentandra*. *Physiologia Plantarum* 83(1): 17-21.
- NAKAYAMA, I.; MIYAZAWA, T.; KOBAYASHI, M.; KAMIYA, Y.; ABE, H.; SAKURAI, A. 1990. Effects of a new plant growth regulator prohexadione calcium (BX-112) on shoot elongation caused by exogenously applied gibberellins in rice (*Oriza sativa L*) seedlings. *Plant and Cell Physiology* 31(2): 195-200.
- NAKAYAMA, I.; KOBAYASHI, M.; KAMIYA, Y.; ABE, H.; SAKURAI, A. 1992. Effects of a plant-growth regulator, prohexadione-calcium (BX-112), on the endogenous levels of gibberellins in rice. *Plant and Cell Physiology* 33(1): 59-62.
- OWENS, C. L.; STOVER, E. 1999. Vegetative growth and flowering of young apple trees in response to prohexadione-calcium. *HortScience* 34(7): 1194-1196.

- RADEMACHER, W. 1993. On the mode of action of acylcohexadiones- a new type of plant growth retardant with possible relationships to daminozide. *Acta Horticulturae* 329: 31-34.
- RADEMACHER, W. 2000. Growth retardants: Effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 51: 501-531.
- RAMÍREZ, H.; HOAD, G. V.; BENAVIDES, A.; RANGEL, E. 2001. Gibberellins in apple seeds and the transport of (<sup>3</sup>H)-GA<sub>4</sub>. *Revista de la sociedad Química de México* 45(2): 47–50.
- RAMÍREZ, H. 2003. El uso de hormonas en la producción de cultivos hortícolas para exportación. *Memorias del 3er Simposio Nacional de Horticultura, Producción, Comercialización y Exportación de Cultivos Hortícolas*. México.
- RAMÍREZ, H.; PERALTA, R. M.; BENAVIDES, A.; SÁNCHEZ, A.; ROBLEDO, V.; HERNÁNDEZ, J. 2005. Efectos de prohexadiona – ca en tomate y su relación con la variación de la concentración de giberelinas y citocininas. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 11(2): 283–290.
- RAMÍREZ, H.; ALONSO, S.; BENAVIDES, A. 2006. Prohexadione-ca modifies growth and endogenous hormones in the shoot apex in apple trees. *Acta Horticulturae* 727: 117-123.
- ROJAS, M.; RAMÍREZ, H. 1987. *Control hormonal del desarrollo de las plantas*. Editorial Limusa. México. D.F. 239 pp.

- SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. 1994. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica. México, D. F. 759 pp.
- SAS INSTITUTE. 2000. SAS / STAT, User's Guide. Release 8.1 ed. SAS Institute Inc., Cary, N. C.
- SIAP,2000.<http://www.siap.sagarpa.gob.mx/InfOMer/analisis/antomate.html#export> (15 de febrero de 2007).
- 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 A<sub>1</sub>, A<sub>3</sub> and A<sub>4</sub> after application to developing apple fruits of *Malus domestica* cv. Jonagold. Acta Horticulturae 463: 113–119.
- WEAVER, R. J. 1996. Reguladores del crecimiento de las plantas en la agricultura. Octava reimpresión. Editorial Trillas. México. 622 pp.

# RESPUESTA VEGETATIVA, REPRODUCTIVA Y POSTCOSECHA DEL TOMATE A PROHEXADIONA DE CALCIO

H. Ramírez<sup>1¶</sup>; B. Herrera-Gómez<sup>1</sup>; A. Benavides-Mendoza<sup>1</sup>; J. A. Villarreal-Quintanilla<sup>2</sup>;  
M. A. Chávez-Reynols<sup>3</sup>; O. Méndez-Paredes<sup>1</sup>; J. H. Rancaño-Arriola<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista,  
Saltillo, Coahuila. México. Correo-e: homeror @terra.com.mx ( <sup>¶</sup>Autor responsable).

<sup>2</sup>Departamento de Botánica, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

<sup>3</sup>INIFAP, Campo Experimental Cotaxtla, Veracruz. Departamento de Maquinaria agrícola.

## RESUMEN

Con el propósito de conocer los efectos de prohexadiona de calcio (P-Ca) en parámetros vegetativos, reproductivos y postcosecha en plantas y frutos de tomate bola variedad Floradade, se evaluaron plantas tratadas con tres dosis del retardante (125, 175 y 200 mg·litro<sup>-1</sup>) y un testigo, con una y dos aplicaciones. La primera aplicación se realizó cuando las plantas presentaban primordios florales, y la segunda aplicación 15 días después. La altura de la planta se redujo notablemente con las aplicaciones de P-Ca, mostrando una marcada reducción en la altura conforme se incrementa la dosis. P-Ca incrementó el número de racimos y frutos por planta. La presión en el fruto se incrementó por efecto del retardante. El número de flores, porcentaje de fruto cuajado, diámetro del tallo, número de entrenudos, producción por planta y el radio del fruto no mostraron un efecto ante las aplicaciones de P-Ca. El peso



fresco y seco de la planta, el peso y los sólidos solubles totales del fruto se redujeron por efecto de P-Ca.

**Palabras clave adicionales:** *Lycopersicon esculentum* Mill., crecimiento vegetativo, crecimiento reproductivo, calidad del fruto, producción, retardante del crecimiento.

## **VEGETATIVE, REPRODUCTIVE AND POSTHARVESTS RESPONSE OF THE TOMATO TO PROHEXADIONE-CALCIUM**

### **SUMMARY**

The study was conducted with the purpose of learning the effects of prohexadione-ca (P-Ca) on vegetative, reproductive and postharvests parameters in plants and fruit of tomato Floradade. The growth retardant was sprayed to experimental plants in one or/and in two occasions. The first application was done when plants had reached 50% blossom; whereas, the second one was performed two weeks after. The concentration dosages of P-Ca were control , 125, 175 and 200 mg·liter<sup>-1</sup>. The height of the plant was reduced remarkably with the applications of P-Ca, showing a noticeable reduction in the height as the dosage is increased. P-Ca increased the number of clusters and fruits by plant. The firmness in the fruit was increased by effect of the retardant. The number of flowers, percentage of fruit set, diameter of the stem, number of knots, yield by plant and the radius of the fruit did not show an effect before the

applications of P-Ca. The fresh and dry weight of the plant, the total soluble solids and weight of the fruit were reduced by effect of P-Ca.

**Additional key words:** *Lycopersicon esculentum* Mill., vegetative growth, reproductive growth, fruit quality, production, growth retardant.

## INTRODUCCIÓN

El empleo adecuado de las hormonas vegetales o biorreguladores en la producción hortícola ha tomado un gran auge en la actualidad, ya que poseen la cualidad de modificar la acción de los genes (Ramírez, 2003), lo que permite cambiar los esquemas de desarrollo y adaptación al ambiente. El empleo de estas sustancias tienen la ventaja de producir efectos que no son permanentes y por lo tanto de ser modificados de acuerdo a las necesidades del horticultor (Ramírez, 2003).

En tomate, una de las características que más se ha buscado modificar en su desarrollo es la altura, con ello sería posible tener plantas de menor altura y más compactas, lo que permitiría sembrar o plantar con mayor densidad y menor acame (Weaver, 1996). Para tal fin, en la década de los ochenta se emplearon daminozida y cloromequat, ambos biorreguladores del grupo de los retardantes del crecimiento cuyo mecanismo principal es inhibir la biosíntesis de giberelinas biológicamente activas (Rademacher, 1993; Rademacher, 2000). Con daminozida se logra el objetivo de plantas de menor altura, pero requiere de aplicaciones repetidas y esto provoca caída de flores, por lo cual se ha abandonado esta práctica (Meintjes *et al.*, 2005). En cambio, el empleo de

cloromequat no provoca caída de flores y produce plantas de porte bajo y compactas, resistente al estrés del transplante, pero presenta el inconveniente de su alta residualidad en los tejidos vegetales, provocando su rechazo en la actualidad (Owens y Stover, 1999).

Una alternativa viable es sin lugar a dudas, el retardante del crecimiento vegetal, Prohexadiona de Calcio (Calcio-3-oxido-5-oxo-3-ciclohexanocarboxilato) cuya eficacia ya ha sido comprobada en varios países de la Unión Europea, Japón y Estados Unidos de América (Evans *et al.*, 1999), en una gama amplia de cultivos como arroz, cacahuete, uvas, peras, manzanas, pastos, etc. (Miyazawa *et al.*, 1991; Nakayama *et al.*, 1992; Grossman *et al.*, 1994; Lee *et al.*, 1998; Unrath, 1999; Jordan *et al.*, 2001; Lo Giudice *et al.*, 2003; Maas, 2005). Su acción primaria es inhibir la biosíntesis de giberelinas (Evans *et al.*, 1999; Rademacher, 2000) acortando los entrenudos del crecimiento nuevo en las especies frutales (Lo Giudice *et al.*, 2004), permitiendo una mayor y mejor penetración de la luz solar en el dosel (Byers y Yoder, 1999; Costa *et al.*, 2004; Lo Giudice *et al.*, 2004), contribuyendo a un incremento en la producción de fotoasimilados y en la producción (Marcelis *et al.*, 1998). En características de calidad del fruto, impacta en forma positiva incrementando el color (Byers y Yoder, 1999; Greene, 1999; Lo Giudice *et al.*, 2003), el aroma (Disegna *et al.*, 2006), la resistencia a la penetración y disminuyendo la cantidad de sólidos solubles (Greene, 1999; Ramírez *et al.*, 2003; Ramírez *et al.*, 2005).

Sin embargo, han sido pocas las investigaciones de este revolucionario producto en el cultivo del tomate (Yamaji *et al.*, 1991; Ramírez *et al.*, 2005). Con

base a lo anterior la presente investigación se realizó con el objetivo de evaluar los efectos de prohexadiona de calcio en parámetros vegetativos, reproductivos, y postcosecha en plantas y frutos de tomate bola variedad Floradade.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

La presente investigación se llevó a cabo en la localidad de Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Con coordenadas de 25° 23' latitud Norte y 101° 01' longitud Oeste, a una altura de 1743 metros sobre el nivel del mar. Se sembraron semillas de tomate bola (*Lycopersicon esculentum* Mill.) variedad Floradade, en una charola de poliestireno de 200 cavidades y se empleo como sustrato peat moss. La siembra se realizó el 28 de Julio de 2005. El material de germinación se situó en un invernadero. Posteriormente el transplante se realizó el 20 de Septiembre de 2005 cuando las plántulas se encontraban en su estadio fenológico de 6 hojas verdaderas, el sustrato empleado para el transplante consistió en una mezcla de peat moss, perlita y vermiculita en las proporciones de 4:2:1 en base volumen, las macetas empleadas fueron de polietileno negro con una capacidad de 18 litros. Las macetas fueron colocadas dentro de un invernadero, de tal forma que se tuvo una densidad de ocho plantas m<sup>-2</sup>. El cultivo fue conducido hasta su cosecha con el paquete tecnológico propuesto para la región. El ensayo se llevo a cabo durante el periodo de agosto de 2005 a febrero de 2006.

Se emplearon ocho tratamientos, tres dosis de Prohexadiona de calcio y un testigo con una aplicación (1X) y dos aplicaciones (2X). La primera aplicación

de los tratamientos mediante aspersión foliar se realizó el día 28 de Octubre de 2005 cuando las plantas presentaban primordios florales y la segunda aplicación dos semanas después. Ambas aplicaciones se realizaron en las primeras horas del día, para favorecer un secado lento.

### **Parámetros vegetativos y reproductivos**

Las evaluaciones se iniciaron el día 25 de noviembre de 2005 con el conteo del número de flores y racimos por planta. El día 14 de diciembre se cuantificó el número de frutos cuajados. Se evaluó altura de la planta, diámetro del tallo y número de entrenudos al finalizar el ciclo de cultivo. La altura de la planta se determinó midiendo desde el cuello de la raíz hasta la punta del ápice central con una cinta métrica flexible escala 0 a 150 cm con una resolución milimétrica. El diámetro del tallo se cuantificó con un vernier modelo Effegi escala 0 a 12 cm con una resolución de décima de mm entre el cuello de la raíz y el primer nudo. Se contabilizó el número de nudos en el tallo principal de la planta. Posteriormente, se procedió a determinar el peso fresco y seco de la parte aérea y raíz. El peso fresco se cuantificó en las primeras horas del día empleando una balanza Ohaus modelo 3729 con capacidad máxima de 2610 gramos y resolución de 0.1 gramos. Después de pesar el órgano (parte aérea o raíz) se colocó dentro de bolsas de papel plenamente identificados con el número de tratamiento, repetición y órgano correspondiente. Al terminar este proceso las muestras fueron secadas en un horno Lindberg / blue® modelo Nave Gravity Oven con capacidad para mantener una temperatura de 4 °C

hasta 260 °C. Las plantas se mantuvieron a 65 °C por espacio de 48 horas continuas para su secado total. Al cumplirse el periodo, se obtuvo el peso seco.

### **Postcosecha**

La cosecha de frutos se llevó a cabo en el estadio de hombros verdes, cosechando los frutos por la mañana. Se evaluó en ellos el diámetro polar (cm), diámetro ecuatorial (cm), radio del fruto (diámetro polar / diámetro ecuatorial), peso del fruto (g), la resistencia a la penetración ( $\text{kg cm}^{-2}$ ) y los sólidos solubles totales ( $^{\circ}$  B). Se utilizaron para este propósito un vernier modelo Effegi escala 0 a 12 centímetros y una resolución de décima de mm, una báscula Ohaus modelo Scout de capacidad máxima de 600 g con resolución de 0.1 gramos, un penetrómetro “Fruit pressure tester” modelo FT327 de capacidad máxima de 12 kg con resolución de décima de kilogramo y un refractómetro óptico manual Modelo ATC-1, escala 0 a 32 %  $^{\circ}$  Brix.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Parámetros vegetativos-reproductivos**

El número de racimos por planta mostró una diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) en donde la concentración de  $175 \text{ mg} \cdot \text{litro}^{-1}$  de P-Ca con dos aplicaciones registró el mayor número de racimos por planta con un incremento del 32% con respecto al testigo (Cuadro 1).

Los demás tratamientos fueron estadísticamente iguales, este resultado concuerda con lo reportado por Ramírez *et al.* (2005), donde con una sola

aplicación de  $250 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$  del retardante encontraron un incremento en el número de racimos por planta. Mientras que, Panelo *et al.* (1992) no detectaron diferencia en el número de racimos por planta al aplicar dos retardantes del crecimiento a tres dosis, las aplicaciones se realizaron a plantas de tomate de crecimiento indeterminado en estadio de plántula. El incremento podría explicarse como un efecto aditivo de la segunda aplicación lo que originó dichos resultados.

En el número de flores por planta no se registraron diferencias entre los tratamientos (Cuadro 1). Esto concuerda con lo reportado por Panelo *et al.* (1992) quienes tampoco encontraron diferencias en el número de flores por planta al aplicar CCC y DPC a dosis de 2500, 5000 y 10000 partes por millón, pero en experiencias con otros retardantes del crecimiento en tomate (López *et al.*, 2002) al emplear alar demostraron su efecto en el incremento en el número de flores.

Por otra parte, Asin *et al.* (2005), igualmente incrementaron el número de flores en peral al emplear P-Ca. Estos resultados podrían deberse al estadio fenológico de aplicación del retardante, ya que las aplicaciones hechas en el ensayo fueron tardías para impactar en la floración de la planta de tomate. El número de aplicaciones presentó una diferencia altamente significativa ( $P \leq 0.01$ ) al cuantificar el número de frutos por planta (Cuadro 1), puesto que dos aplicaciones incrementó la cantidad de frutos por planta con respecto a una sola aplicación de las diferentes concentraciones empleadas de P-Ca.

**Cuadro 1.** Efecto de prohexadiona de calcio sobre parámetros vegetativos y reproductivos en plantas de tomate bola variedad Floradade.

Tratamientos	Planta <sup>2</sup>					
	R* (No.)	FI <sup>NS</sup> (No.)	Fr** (No.)	CF <sup>NS</sup> (%)	DT <sup>NS</sup> (mm)	E <sup>NS</sup> (No.)
Testigo 1X	4.00	23.43	13.14	72.32	13.13	11.00
	±0.21b	±2.05	±1.24ab	±3.67	±0.38	±0.00
Testigo 2X	3.57	22.43	16.86	77.05	12.67	11.14
	±0.20b	±1.58	±1.28ab	±1.80	±0.37	±0.14
125 mg·litro <sup>-1</sup> 1X	4.14	25.57	10.29	80.98	12.94	11.29
	±0.34b	±2.41	±2.57b	±3.85	±0.44	±0.48
125 mg·litro <sup>-1</sup> 2X	4.14	25.14	15.29	72.26	12.53	11.00
	±0.40b	±2.34	±1.77ab	±3.09	±0.59	±0.00
175 mg·litro <sup>-1</sup> 1X	4.14	21.29	14.85	67.81	12.39	11.57
	±0.40b	±2.04	±1.34ab	±3.80	±0.42	±0.29
175 mg·litro <sup>-1</sup> 2X	5.28	25.14	19.42	73.86	13.37	11.00
	±0.35a	±1.58	±1.57a	±4.47	±0.32	±0.21
200 mg·litro <sup>-1</sup> 1X	4.14	21.71	13.14	67.45	12.62	11.00
	±0.26b	±1.37	±1.65ab	±3.70	±0.26	±0.00
200 mg·litro <sup>-1</sup> 2X	4.00	22.86	18.14	68.18	12.46	11.00
	±0.21b	±0.46	±0.42a	±1.80	±0.29	±0.21

<sup>2</sup> Cada valor representa la media de siete repeticiones ± error estándar.

<sup>NS</sup> No significativo, \*, \*\* Significativo a una P ≤ 0.05 y 0.01 de Duncan respectivamente.

R = Racimos, FI = Flores, Fr = Frutos, CF = Cuajado de fruto, DT = Diámetro del tallo, E = Entrenudos.

El incremento fue de 48, 31 y 38 % correspondientes a las dosis de 125, 175 y 200 mg·litro<sup>-1</sup> respectivamente, esto sugiere que aplicaciones repetidas de P-Ca



son capaces de incrementar la cantidad de frutos por planta en tomate. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Meintjes *et al.* (2005) en pera y Ramírez *et al.* (2005) en tomate.

El cuajado de fruto no muestra diferencia estadística, con valores que oscilan de 65 a 80 %, no posee una tendencia clara ante el efecto de P-Ca sobre el cuajado de fruta en plantas de tomate bola variedad Floradade.

El diámetro del tallo no exhibió diferencias significativas en su interacción y sus efectos simples (Cuadro 1), sin embargo, existe una tendencia clara en las plantas tratadas con P-Ca en poseer un diámetro mayor con respecto a las plantas testigo. Este resultado puede atribuirse al estadio fenológico de aplicación de P-Ca, puesto que Ramírez *et al.* (2005) realizaron sus aplicaciones cuando las plantas se encontraban en una etapa aún juvenil, no así para este experimento, en donde las aplicaciones se realizaron al inicio de floración, impactando en la altura de la planta pero no en el grosor del tallo. Caso contrario a lo reportado por Ramírez *et al.* (2005) en plantas de tomate de crecimiento indeterminado y determinado tratadas con P-Ca en donde encontraron diferencias entre los tratamientos. Resultados similares reportan Byers y Yoder (1999) y Byers *et al.* (2004) en árboles de manzano, los cuales disminuyeron significativamente su diámetro de tallo. Silva *et al.* (2001) reportaron decrementos en el diámetro del tallo de girasol al emplear cycocel y aumentos significativos en este mismo parámetro al emplear paclobutrazol. No existe una tendencia consistente en el diámetro del tallo al emplear retardantes del crecimiento.

El número de nudos por planta (Cuadro 1) es un parámetro que estadísticamente muestra igualdad entre los diversos tratamientos. Ramírez *et al.* (2005), reportaron un incremento significativo en el número de nudos por planta al realizar aplicaciones de 175 y 250 mg·litro<sup>-1</sup> de P-Ca. Es posible que el estadio fenológico diferente en el que se aplicó y las variedades hayan influido. Byers y Yoder (1999), reportaron disminución significativa en el crecimiento vegetativo del manzano al realizar la primera aplicación cuando el brote había alcanzado 5 centímetros del crecimiento nuevo y una segunda aplicación a los 15 días después. Por su parte, Lo Giudice *et al.* (2003), reportaron que al emplear P-Ca en viñedos, estos mostraron decrementos significativos en la longitud del entrenudo y el número de nudos con respecto al testigo.

La Figura 1 muestra los efectos de prohexadiona de calcio (P-Ca) sobre la altura en las plantas de tomate variedad Floradade cultivadas bajo invernadero. El P-Ca originó una reducción significativa ( $P \leq 0.01$ ) en la altura de la planta al momento de su evaluación a dosis de 125, 175 y 200 mg·litro<sup>-1</sup>. Las plantas tratadas con P-Ca con una y dos aplicaciones mostraron una menor altura hasta el momento de su cosecha. La concentración de 200 mg·litro<sup>-1</sup> mostró las plantas más compactas con una disminución del 15 % de altura con respecto al testigo.

Las aplicaciones de 125 y 175 mg·litro<sup>-1</sup> de P-Ca disminuyeron la altura de la planta en un 7 y 9 % respectivamente con respecto al testigo, difiriendo estadísticamente de éste, sin embargo, no existió diferencia estadística entre estos dos tratamientos de P-Ca.

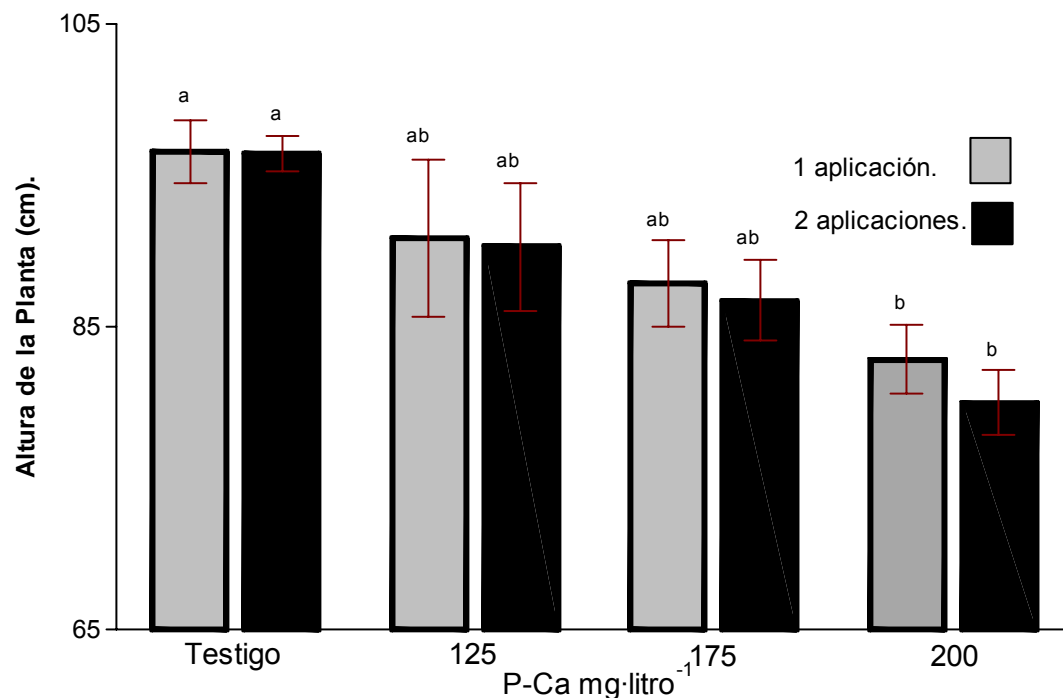


Figura 1. Altura de la planta de tomate variedad Floradade después de ser tratada con prohexadiona de calcio. Cada punto representa el promedio de siete repeticiones  $\pm$  error estándar. Con prueba de Duncan  $P \leq 0.01$ .

El número de aplicaciones del retardante del crecimiento no fue significativo para la altura de planta, lo cual significa que una o dos aplicaciones de las diferentes dosis empleadas de P-Ca poseen efectos similares.

A pesar de esto, se aprecia una diferencia numérica en cuanto al número de aplicaciones, impactando de forma negativa a la altura de la planta las dosis del retardante empleadas y el número de aplicaciones. El efecto observado de P-Ca en la altura de plantas de tomate variedad Floradade concuerda con lo reportado por Miyazawa *et al.* (1991) en pasto turfgrass; Nakayama *et al.* (1990) y Nakayama *et al.* (1992) en arroz; Yamaji *et al.* (1991) y Ramírez *et al.* (2005) en tomate; Grossman *et al.* (1994) en trigo y colza; Lee *et al.* (1998) en sorgo de

grano; Byers y Yoder (1999), Greene (1999) y Ramírez *et al.* (2003) en manzano; Jordan *et al.* (2001) y Beam *et al.* (2002) en cacahuate; Lo Giudice *et al.* (2003) y Lo Giudice *et al.* (2004) en uvas; Costa *et al.* (2004) en peras. Todos ellos reportaron disminución en la altura de sus respectivos cultivos a causa del empleo de P-Ca.

El peso fresco de la planta de tomate muestra diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ), donde la dosis de  $200 \text{ mg} \cdot \text{litro}^{-1}$  de P-Ca con una y dos aplicaciones presentó el mayor peso fresco; las plantas testigo y las tratadas con  $175 \text{ mg} \cdot \text{litro}^{-1}$  de P-Ca no mostraron diferencias estadísticas entre ellas. El mayor peso fresco se registró en las plantas tratadas con  $125 \text{ mg} \cdot \text{litro}^{-1}$  de P-Ca con una aplicación. Resultados similares se registraron con el peso seco de la planta (Cuadro 2).

En el peso aéreo fresco, el P-Ca en  $125 \text{ mg} \cdot \text{litro}^{-1}$  con una sola aplicación incrementó hasta en un 15 % esta variable con respecto a las plantas testigo, mostrando una diferencia altamente significativa ( $P \leq 0.01$ ). La dosis  $200 \text{ mg} \cdot \text{litro}^{-1}$  de P-Ca con dos aplicaciones redujo su peso fresco de la parte aérea en un 27 % con respecto al testigo. El resto de los tratamientos no difirieron estadísticamente entre ellos. El peso seco aéreo de las plantas testigo y de las que recibieron  $175 \text{ mg} \cdot \text{litro}^{-1}$  de P-Ca no difieren estadísticamente entre ellas (Cuadro 2). En cambio, las plantas tratadas con  $125 \text{ mg} \cdot \text{litro}^{-1}$  de P-Ca mostraron un incremento del 25 % con respecto al testigo.

Cuadro 2. Efecto de prohexadiona de calcio en la biomasa de plantas de tomate bola variedad Floradade.

Tratamientos	Peso planta <sup>z</sup>		Peso aéreo <sup>z</sup>		Peso raíz <sup>z</sup>	
	F** (g)	S** (g)	F** (g)	S** (g)	F** (g)	S <sup>NS</sup> (g)
Testigo 1X	422.50	80.23	393.13	65.71	29.37	14.51
	±25.09ab	±5.55bc	±22.51abc	±4.55ab	±3.32b	±1.41
Testigo 2X	478.79	85.93	449.30	71.99	29.49	13.94
	±37.81ab	±2.47abc	±37.20ab	±2.75ab	±2.36b	±1.09
125 mg·litro <sup>-1</sup> 1X	522.20	102.43	482.70	84.44	39.50	17.71
	±53.27a	±10.12a	±53.66a	±9.57a	±4.41ab	±1.98
125 mg·litro <sup>-1</sup> 2X	463.71	95.90	406.30	79.42	57.41	16.47
	±36.19ab	±8.50ab	±30.27abc	±2.89a	±9.06a	±1.54
175 mg·litro <sup>-1</sup> 1X	405.87	83.43	374.77	68.90	31.10	14.53
	±26.56ab	±2.64abc	±23.64abc	±1.92ab	±2.28b	±0.91
175 mg·litro <sup>-1</sup> 2X	390.18	86.20	359.85	72.89	30.33	13.31
	±17.16ab	±3.54abc	±17.08abc	±3.64ab	±1.84b	±0.59
200 mg·litro <sup>-1</sup> 1X	358.57	72.34	324.17	58.01	34.40	14.33
	± 33.00b	±5.88c	±32.71bc	±4.77b	±7.36b	±2.25
200 mg·litro <sup>-1</sup> 2X	340.56	71.75	304.77	58.39	35.79	13.37
	±19.02b	±3.19c	±16.10c	±2.87b	±3.81b	±1.07

<sup>z</sup> Cada valor representa la media de siete repeticiones ± error estándar.

<sup>NS</sup> No significativo, \*\* Significativo a una  $P \leq 0.01$  de Duncan.

F = Fresco, S = Seco.

Las plantas que recibieron 200 mg·litro<sup>-1</sup> de P-Ca presentaron una reducción del 12 % con respecto a plantas testigo, fue esta dosis la de menor contenido de materia seca. El peso fresco de la raíz muestra una diferencia altamente

significativa ( $P \leq 0.01$ ), fue la dosis de  $125 \text{ mg} \cdot \text{litro}^{-1}$  de P-Ca con una y dos aplicaciones las que mostraron los mayores valores de materia fresca de la raíz, superando con un 25 y 50 % respectivamente al testigo.

En contraste, el peso seco de la raíz, no mostró diferencia estadística (Cuadro 2), más sin embargo, fue la dosis de  $125 \text{ mg} \cdot \text{litro}^{-1}$  de P-Ca con una y dos aplicaciones la que obtuvo la mayor cantidad de materia seca de la raíz.

El peso del fruto mostró diferencias altamente significativas entre los tratamientos (Cuadro 3), presentando el de  $125 \text{ mg} \cdot \text{litro}^{-1}$  los frutos con mayor peso, con un incremento del 2 % con respecto a frutos testigo, por su parte el P-Ca en  $175$  y  $200 \text{ mg} \cdot \text{litro}^{-1}$  redujo el peso del fruto en un 16 y 9 % respectivamente, cuando lo comparamos con el testigo. Entre los frutos de plantas tratadas con P-Ca se observaron frutos de mayor peso en las plantas que recibieron una sola aplicación en comparación a las que recibieron dos aplicaciones de P-Ca en sus diferentes dosis.

Esto concuerda con lo reportado por Ramírez *et al.* (2005) quienes no reportaron diferencia significativa, sin embargo, existe una clara tendencia hacia frutos de menor peso a dosis mayores de P-Ca, resultados similares son reportados por Greene (1999), Sugar *et al.* (2004), Meintjes *et al.* (2005). En experiencias con otros retardantes, no se reportan diferencias en el peso del fruto de tomate (Panelo *et al.*, 1992). Posiblemente esto se deba a una mayor competencia de los frutos por los fotoasimilados generados por la planta.

Cuadro 3. Efecto de prohexadiona de calcio en la producción y parámetros de calidad en el fruto de tomate bola variedad Floradade.

Tratamientos	Planta <sup>Z</sup>	Fruto <sup>Y</sup>		Fruto <sup>X</sup>	
	Pr <sup>NS</sup> (g)	Radio <sup>NS</sup>	Peso <sup>**</sup> (g)	RP <sup>NS</sup> (kg cm <sup>-2</sup> )	SST <sup>**</sup> (° B)
Testigo 1X	1164.09	0.792	88.57	4.91	6.17
	±99.36	±0.006	±3.94a	±0.27	±0.27ab
Testigo 2X	1394.72	0.814	82.74	4.41	6.61
	±119.17	±0.008	±3.56ab	±0.29	±0.18a
125 mg·litro <sup>-1</sup> 1X	939.12	0.806	91.31	5.32	5.81
	±203.97	±0.008	±5.28a	±0.38	±0.25ab
125 mg·litro <sup>-1</sup> 2X	1404.63	0.818	92.25	5.07	5.42
	±163.84	±0.006	±3.09a	±0.47	±0.15b
175 mg·litro <sup>-1</sup> 1X	1242.93	0.816	83.66	5.47	6.11
	±91.64	±0.006	±3.82ab	±0.23	±0.21ab
175 mg·litro <sup>-1</sup> 2X	1358.21	0.815	69.91	5.33	6.20
	±141.90	±0.008	±2.83b	±0.48	±0.17ab
200 mg·litro <sup>-1</sup> 1X	1052.54	0.820	80.09	5.48	5.72
	±124.16	±0.005	±3.68ab	±0.23	±0.19b
200 mg·litro <sup>-1</sup> 2X	1514.01	0.817	83.33	5.91	5.45
	±189.03	±0.004	±3.54ab	±0.25	±0.14b

<sup>Z, Y, X</sup> Cada valor representa la media de siete, 100 y 50 repeticiones respectivamente ± error estándar.

<sup>NS</sup> No significativo, <sup>\*\*</sup> Significativo a una P ≤ 0.01 de Duncan.

Pr = Producción, RP = Resistencia a la penetración, SST = Sólidos solubles totales.

La producción por planta no mostró una diferencia significativa (Cuadro 3), sin embargo posee una clara tendencia de mayor producción en aquellas plantas

que recibieron dos aplicaciones de las diferentes concentraciones de P-Ca, a pesar de que estas mismas plantas produjeron los frutos de menor peso en comparación con las plantas de una sola aplicación. El mayor número de frutos de las plantas con dos aplicaciones rindieron una mayor producción por planta, resultados similares son reportados por Greene (1999), Ramírez *et al.* (2003), Ramírez *et al.* (2005), Ramírez *et al.* (2006). Caso contrario lo reportado por Panelo *et al.* (1992) con experiencias en tomate empleando otros retardantes.

El radio del fruto mostró valores entre 0.792 y 0.820 (Cuadro 3) sin presentar significancia, Ramírez *et al.* (2003), reportaron valores similares en frutos de tomate. No se detectó diferencia estadística en la firmeza del fruto (Cuadro 3).

#### **Parámetros postcosecha**

Las aplicaciones de P-Ca presentaron una tendencia consistente a incrementar la firmeza, presentando mayor resistencia a la penetración aquellos frutos provenientes de plantas que recibieron una sola aplicación del retardante. Resultados similares son reportados por Ramírez *et al.* (2003), en frutos de tomate saladette y Greene (1999), en frutos de manzana antes y después de ser almacenadas.

El contenido de sólidos solubles totales en frutos se vio afectado por las dosis y el número de aplicaciones de P-Ca (Cuadro 3). Los frutos testigos difirieron estadísticamente ( $P \leq 0.01$ ) de los frutos tratados. Se detectó un mayor contenido de sólidos solubles totales en aquellos frutos que recibieron una sola aplicación en comparación con aquellos que recibieron dos aplicaciones de las dosis del retardante. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Greene (1999) y Meintjes *et al.* (2005).



## CONCLUSIONES

Con base a los resultados obtenidos y bajo las condiciones es que se realizó el trabajo experimental, se concluye lo siguiente: Prohexadiona de calcio aumenta el número de racimos y frutos por planta, además de la firmeza de los frutos; disminuye la biomasa, el peso de los frutos y los sólidos solubles totales del fruto.

## LITERATURA CITADA

- ASIN, L.; DALMAU, R.; BONANY, J.; PAGES, J. M.; VILLARDELL, P. 2005. Effect of Prohexadione-ca on growth regulation, yield, fruit set and return bloom, in “blanquilla” and “conference”, the two main pear cultivars grown in Spain. *Acta Horticulturae* 671: 525-532.
- BEAM, J. B.; JORDAN, D. L.; YORK, A. C.; ISLEIB, T. G.; BAILEY, J. E.; MCKEMIE, T. E.; SPEARS, J. F.; JOHNSON, P. D. 2002. Influence of prohexadione calcium on pod yield and pod loss of peanut. *Agronomy Journal* 94: 331-336.
- BYERS, R. E.; YODER, K. S. 1999. Prohexadione-calcium inhibits apple, but not peach, tree growth, but has little influence on apple fruit thinning or quality. *HortScience* 34(7): 1205-1209.
- BYERS, R. L.; CARBAUGH, D. H.; COMBS, L. D. 2004. Prohexadione-calcium suppression of apple tree shoot growth as affected by spray additives. *HortScience* 39(1): 115-119.

- CINTA, G.; ALMAGRO, M.; LLABRÉS, T. M. 2004. Estadística práctica con minitab. Pearson educación, S. A. Madrid, España 448 pp.
- 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.
- DISEGNA, E.; BOIDO, E.; CARRAU, F.; FARIÑA, L.; MEDINA, K.; MÉNDEZ, M.; RODRÍGUEZ, P.; DELLACASSA, E. 2006. Efectos de la aplicación del regulador del crecimiento 3,5-dioxo-4-propionilciclohexancarboxilato de calcio (BAS 125) en la producción de uvas, composición del vino y aroma del cv. "tannat". <http://www.inia.org.uy/eventos/M&E-9.pdf> (20 de agosto de 2006).
- EVANS, J. R.; EVANS, R. R.; REGUSCI, C. L.; RADEMACHER, W. 1999. Mode of action, metabolism, and uptake of BAS 125 W, prohexadione-calcium. *HortScience* 34(7): 1200-1201.
- GREENE, D. W. 1999. Tree growth management and fruit quality of apple trees treated with prohexadione-calcium (BAS 125). *HortScience* 34(7): 1209-1212.
- GROSSMAN, K.; KÖNIG, S.; KWIATKOWSKI, J. 1994. Phytohormonal changes in intact shoots of wheat and oilseed rape treated with the acylcyclohexadione growth retardant prohexadione calcium. *Physiologia Plantarum* 90:139-143.

- JORDAN, D. L.; BEAM, J. B.; JOHNSON, P. D.; SPEARS, J. F. 2001. Peanut response to prohexadione calcium in three seeding rate-row pattern planting systems. *Agronomy Journal* 93: 232-236.
- LEE, I. J.; FOSTER, K. R.; MORGAN, P. W. 1998. Effect of gibberellin biosynthesis inhibitors on native gibberellin content, growth and floral initiation in *Sorghum bicolor*. *Journal of Plant Growth Regulation* 17(4):185-195.
- 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.; ZOECKLEIN, 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, M.; SÁNCHEZ, F.; CONTRERAS, E. 2002. Efecto de cycocel y B-9 sobre plantas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) manejadas a dos racimos. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 8(2): 161-170.
- MAAS, F. M. 2005. Shoot growth, fruit production and return bloom in “conference” and “doyenné du comice” treated with regalis (prohexadione-calcium). *Acta Horticulturae* 671: 517-524.
- MARCELIS, L. F. M.; HEUVELINK, E.; GOUDRIAAN, J. 1998. Modelling biomass production and yield of horticultural crops: A review. *Scientia Horticulturae* 74(1): 83-111.
- MEINTJES, J. J.; STASSEN, P.; THERON, K. I. 2005. The effect of different rates of prohexadione-calcium and girdling on shoot growth and fruit

quality when applied to different pear cultivars. *Acta Horticulturae* 671: 539-546.

MIYAZAWA, I.; YANAGISAWA, K.; SHIGEMATSU, S.; MOTOJIMA, K.; MATSUZAWA, M. 1991. Prohexadione-calcium, a new plant growth regulator for cereals and ornamental plants. *Brigton Crop Prot. Conf. Weeds*. 3: 967-972.

NAKAYAMA, I.; MIYAZAWA, T.; KOBAYASHI, M.; KAMIYA, Y.; ABE, H.; SAKURAI, A. 1990. Effects of a new plant growth regulator prohexadione calcium (BX-112) on shoot elongation caused by exogenously applied gibberellins in rice (*Oriza sativa* L.) seedlings. *Plant and Cell Physiology* 31(2): 195-200.

NAKAYAMA, I.; KOBAYASHI, M.; KAMIYA, Y.; ABE, H.; SAKURAI, A. 1992. Effects of a plant-growth regulator, prohexadione-calcium (BX-112), on the endogenous levels of gibberellins in rice. *Plant and Cell Physiology* 33(1): 59-62.

OWENS, C. L.; STOVER, E. 1999. Vegetative growth and flowering of young apple trees in response to prohexadione-calcium. *HortScience* 34(7): 1194-1196.

PANELO, M. S.; NAKAYAMA, F.; MORANDI, E. 1992. Efectos de sustancias retardantes del crecimiento en tomate. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 27(4): 561-573.

- RADEMACHER, W. 1993. On the mode of action of acylcohexadiones - a new type of plant growth retardant with possible relationships to daminozide. *Acta Horticulturae* 329: 31-34.
- RADEMACHER, W. 2000. Growth retardants: Effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. *Annual Review of Plant Physiology and plant Molecular Biology* 51: 501-531.
- RAMÍREZ, H. 2003. El uso de hormonas en la producción de cultivos hortícolas para exportación. *Memorias del 3er Simposio Nacional de Horticultura, Producción, Comercialización y Exportación de Cultivos Hortícolas*. México.
- 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. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 9(2): 279-284
- RAMÍREZ, H.; PERALTA, R. M.; BENAVIDES, A.; SÁNCHEZ, A.; ROBLEDO, V.; HERNÁNDEZ, J. 2005. Efectos de Prohexadiona – Ca en tomate y su relación con la variación de la concentración de giberelinas y citocininas. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 11(2): 283–290.
- RAMÍREZ, H.; ALONSO, S.; BENAVIDES, A. 2006. Prohexadione-ca modifies growth and endogenous hormones in the shoot apex in apple trees. *Acta Horticulturae* 727: 117-123.
- SAS Institute. 2000. SAS / STAT. User's Guide. Release 8.1 ed. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina.

- SILVA, M.; GÁMEZ, H.; ZAVALA, F.; CUEVAS, B.; ROJAS, M. 2001. Efecto de cuatro fitorreguladores comerciales en el desarrollo y rendimiento del girasol. *Ciencia UANL* 4(1): 69-75.
- SUGAR, D.; ELFVING, D. C.; MIELKE, E. A. 2004. Effects of prohexadione-calcium on fruit size and return bloom in pear. *HortScience* 39(6): 1305-1308.
- UNRATH, C. R. 1999. Prohexadione-ca: A promising chemical for controlling vegetative growth of apples. *HortScience* 34(7): 1197-1200.
- WEAVER, R. J. 1996. Reguladores del crecimiento de las plantas en la agricultura. Octava reimpresión. Editorial Trillas. México. 622 pp.
- YAMAJI, H.; KATSURA, N.; NISHIJIMA, T.; KOSHIOKA, M. 1991. Effects of soil-applied uniconazole and prohexadione calcium on the growth and endogenous gibberellin content of *Lycopersicon esculentum* Mill. Seedlings. *Journal of Plant Physiology* 138(6): 763-764.

# PROHEXADIONA DE CALCIO INCREMENTA EL CONTENIDO DE LICOPENO Y ACTIVIDAD ENZIMÁTICA DURANTE LA MADURACIÓN DEL FRUTO EN TOMATE

Homero **Ramírez-Rodríguez**<sup>1</sup>, Bruno **Herrera-Gómez**<sup>1</sup>, Adalberto **Benavides-Mendoza**<sup>1</sup>,  
Rosalinda **Mendoza-Villarreal**<sup>2</sup>, José Hugo **Rancaño-Arrijo**<sup>1</sup>,  
José Ángel **Villarreal-Quintanilla**<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Horticultura, <sup>2</sup>Departamento de Ciencias Básicas, <sup>3</sup>Departamento de Botánica, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila. México.

(homeror @terra.com.mx)

## RESUMEN

Con el propósito de conocer los efectos de prohexadiona de calcio (P-Ca) en la capacidad antioxidante total, contenido de licopeno y actividad de las enzimas catalasa y peroxidasa en frutos de tomate bola variedad Floradade, se evaluaron frutos provenientes de plantas tratadas con tres dosis del retardante (125, 175 y 200 mg L<sup>-1</sup>) y un testigo, con una y dos aplicaciones; la primera aplicación se realizó cuando las plantas presentaban primordios florales, y la segunda aplicación 15 días después. P-Ca incrementó sustancialmente la capacidad antioxidante total en frutos de tomate, encontrándose una mayor actividad antioxidante en frutos en el estadio de maduración de hombros verdes. La concentración de licopeno se incrementó notablemente en los frutos de tomate provenientes de plantas tratadas con cualquiera de las dosis empleadas de P-Ca, encontrando mayor concentración de licopeno en frutos en el estadio de maduración mas avanzado. La actividad enzimática tanto para

peroxidasa y catalasa se incrementó significativamente con la aplicación de P-Ca.

**PALABRAS CLAVE** *Lycopersicon esculentum* Mill., capacidad antioxidante total, licopeno, peroxidasa, catalasa.

## INTRODUCCIÓN

La agricultura moderna ha buscado modificar el potencial de los cultivos a través del mejoramiento genético, implementando nuevas tecnologías en el manejo de los cultivos ó empleando sustancias que son capaces de modificar momentáneamente características intrínsecas de las plantas; tales sustancias son conocidas como reguladores del crecimiento, entre ellas destacan por su importancia agrícola las auxinas, giberelinas, citocininas, el ácido abscísico y los retardantes del crecimiento.

Desde su descubrimiento, los retardantes del crecimiento fueron una herramienta eficaz en el control del crecimiento vegetativo en árboles caducifolios, tal es el caso del manzano y el peral, posteriormente su uso se introdujo en cultivos ornamentales como el crisantemo cultivado bajo condiciones de invernadero (Rademacher, 2000).

Pero su verdadera importancia comenzó a reflejarse cuando se comprobó que retardantes como el cloromequat y paclobutrazol podían ser empleados en manzanos como estimulantes de la brotación, así mismo, se les atribuía a estos productos beneficios extras al momento de la cosecha como el aumento de la



firmeza y una disminución de los sólidos solubles totales en los frutos (Rademacher, 2000).

Hoy en día, estos dos productos se encuentran restringidos para su uso agrícola, puesto que se ha demostrado que poseen una alta residualidad en los cultivos.

Prohexadiona de calcio (Ca-(3-oxido-4-propionil-5-oxo-3-ciclohexanocarboxilato)), es un retardante del crecimiento, de reciente presencia en la horticultura (Rademacher, 2000). Se ha experimentado ampliamente con este compuesto en la Unión Europea en manzanos y árboles caducifolios, cereales, entre otros cultivos (Rademacher, 1993; Rademacher, 2000). En Estados Unidos su uso está enfocado esencialmente en cacahuete y manzano (Evans *et al.*, 1999; Jordan *et al.*, 2003), demostrando ser una excelente opción para reemplazar a los retardantes de antaño.

Durante todo este proceso de experimentación que ha vivido el P-Ca, son varios ya los investigadores que han sugerido que el retardante es capaz de intervenir en rutas biosintéticas de metabolitos secundarios, y con ello impactar de manera positiva el estatus antioxidante (Rademacher, 2000; Gosch *et al.*, 2003; Roemmelt *et al.*, 2003a; Roemmelt *et al.*, 2003b), pudiendo ser esto parte de la explicación de como un retardante del crecimiento como lo es el P-Ca, puede evitar enfermedades como el tizón de fuego (*Erwinia amylovora*) y roña (*Venturia inaequalis*) en manzano y peral. Con base a lo anterior, la presente investigación se realizó con el objetivo de evaluar los efectos de prohexadiona de calcio en la capacidad antioxidante total, concentración de licopeno y actividad de las enzimas peroxidasa y catalasa en frutos de tomate bola

variedad Floradade provenientes de plantas tratadas con el retardante del crecimiento.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Se emplearon frutos de tomate bola de la variedad Floradade provenientes de plantas que recibieron aplicaciones de P-Ca; las cuales consistieron en tres dosis del retardante (125, 175 y 200 mg L<sup>-1</sup>) y plantas testigo. Cada dosis tuvo una y dos aplicaciones, la primera aplicación fue realizada cuando las plantas presentaban primordios florales y la segunda aplicación se realizó dos semanas después. El cultivo fue conducido hasta su cosecha en un invernadero ubicado en la localidad de Buenavista, Saltillo, Coahuila, con coordenadas geográficas 25° 23' latitud norte y 101° 01' longitud oeste, con una altura de 1743 metros sobre el nivel del mar.

El promedio de temperatura en el invernadero fue de 27 °C y la humedad relativa de 65%. El ensayo se llevo a cabo desde agosto de 2005 hasta febrero de 2006.

Se empleó un diseño completamente al azar tri factorial para la determinación de la capacidad antioxidante total y contenido de licopeno donde el factor (A) fueron las dosis de P-Ca empleados, (B) el número de aplicaciones realizadas y (C) estadios de maduración (inicio de color y hombros verdes), teniendo así 16 tratamientos, con tres repeticiones por cada tratamiento, para un total de 48 unidades experimentales para el análisis. En tanto, para determinar la actividad catalasa y peroxidasa se trabajó con un diseño

experimental completamente al azar bi factorial, donde el factor (A) incluyó las dosis empleadas del retardante y (B) el número de aplicaciones realizadas de las dosis referidas, teniendo un total de ocho tratamientos, solamente se trabajó en cada tratamiento con frutos en estadio hombros verdes, con tres repeticiones teniendo un total de 24 unidades experimentales por enzima determinada.

Los resultados obtenidos de las diversas determinaciones fueron analizados con el programa estadístico SAS versión 8.1 para Windows, para obtener el análisis de varianza y comparación de medias, se utilizó la prueba de Duncan ( $P \leq 0.01$ ) y las figuras fueron realizadas con el programa Minitab Versión 14.

#### **Determinación de la capacidad antioxidante total**

Los frutos se recolectaron en las primeras horas del día del análisis, se identificaron con el tratamiento y estadio de madurez. En el laboratorio se tomaron los frutos y se seccionaron en dos partes iguales, de la parte central del fruto, de ambos lados se tomaron los 5 g de muestra requerida, se colocaron en un mortero, previamente congelado, al que se le agregó 10 mL de buffer de fosfatos con pH 7 y se molió vigorosamente, el extracto obtenido se centrifugó a 50 Hz durante 10 min, depositando el líquido obtenido en tubos de ensaye.

La determinación de la concentración de antioxidantes se hizo mediante el kit de análisis "total antioxidant status kit assay" de Calbiochem (Miller *et al.*, 1993) que consta de una solución buffer (de fosfato salino), cromógeno (Metmioglobina y ABTS<sup>®</sup> (catión radical 2,2-Azinobois-(3- etilbenzotiazolin-6-sulfonato)), sustrato estabilizado (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) y como estándar se utilizó el análogo

de la vitamina E Trolox (6-Hidroxi-2, 5, 7, 8- tetrametil croman-2-ácido carboxílico) con concentración de 1.5 mM.

Se utilizó un espectrofotómetro Loausch & Lamb modelo Espectronic 21 con capacidad máxima de 0 a 2 de absorbancia, capaz de medir absorbancia a 600 nm, celdas de un centímetro de longitud, una centrífuga Sol-bat modelo J-12 con capacidad máxima de 5000 rpm, un termo baño Precision modelo 184 con capacidad máxima 250 °C, y una balanza Ohaus modelo Scout con capacidad máxima de 600 g y una resolución de 0.1 gramos.

Para realizar el análisis de las muestras se prepararon los tres reactivos incluidos en el kit de la siguiente forma: Al cromógeno y al sustrato se le agregaron 10 mL y 7.5 mL de buffer con pH 7 respectivamente, al estándar se le agregó 1 mL de agua destilada.

### **Medición de antioxidantes en frutos de tomate**

El espectrofotómetro se ajustó a 600 nm contra el aire, el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> estabilizado y el cromógeno se equilibraron a 37 °C, exactamente 5 min antes de ser utilizados.

Primero se preparó un blanco agregando 20 µL de agua bidestilada en una celda y 1 mL del cromógeno. En otra celda se preparó el estándar, agregando 20 µL de Trolox y 1 mL de cromógeno, y después se leyó la absorbancia inicial (A<sub>0</sub>) en ambas celdas. Enseguida se analizaron los extractos de los frutos de tomate, colocando 20 µL de extracto centrifugado, y 1 mL de cromógeno para cada muestra, se mezcló el contenido y se leyó la absorbancia inicial, después se añadieron 200 µL del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> estabilizado diluido a cada celda, se mezclaron y

se tomó el tiempo de inicio simultáneamente. La absorbancia final (A) se midió después de tres minutos del desarrollo de color. La temperatura se mantuvo a 37 °C durante toda la prueba. Para calcular los niveles de antioxidantes en las muestras se utilizó la concentración del estándar Trolox de acuerdo al número de lote del kit utilizado (1.5 mM).

Se determinó el gradiente de la Absorbancia ( $\Delta A$ ) para las muestras ( $\Delta A_m$ ), el estándar ( $\Delta A_e$ ) y el blanco ( $\Delta A_b$ ) con la siguiente ecuación general:

$$\Delta A = A - A_0.$$

Después se calculó la capacidad antioxidante equivalente a Trolox ("CAET") en cada muestra empleando la siguiente fórmula:

$$\text{CAET (mM)} = \frac{\text{concentración del estándar Trolox (1.5 mM)} \times [\Delta A_b - \Delta A_m]}{\Delta A_b - \Delta A_e}$$

El resultado de cada muestra se expresó como mM de equivalente Trolox  $\text{mg}^{-1}$  de peso fresco de la muestra.

### **Determinación de la concentración de licopeno**

Para determinar el contenido de licopeno se empleó el mismo equipo que se utilizó para determinar la capacidad antioxidante equivalente a Trolox; de los tomates a analizarse se pesaron 3 g de pericarpio que se colocaron en un mortero previamente congelado, el cual contenía 3 mL de buffer de fosfatos pH 7 y posteriormente se molió vigorosamente, de la mezcla se colocaron 2 mL en tubos de centrifuga, agregando 4 mL de mezcla hexano - acetona (3:2), agitando fuerte al tubo para separar los pigmentos de las membranas y así poder disolverlos (Davis *et al.*, 2003), después se centrifugó a 41.66 Hz por espacio de 10 min para la separación de fases, se extrajo la fase coloreada y se

colocó en una celda de 1 cm leyendo la absorbancia a 502 nm ( $A_{502}$ ). Se calculó el contenido de licopeno con la siguiente formula:

$$\text{Licopeno } (\mu\text{g g}^{-1}) = A_{502} \times \left[ \frac{1}{320} \right] \times 4 \quad (\text{Fish et al., 2002}).$$

### **Determinación de la actividad enzimática**

Los tres frutos requeridos de los diferentes tratamientos fueron cosechados en estadio de hombros verdes durante las primeras horas de la mañana para realizar la extracción y cuantificación de la actividad enzimática de la catalasa y la peroxidasa.

Se utilizó un fotómetro Leitz modelo 340-800 con absorbancia de 0 a 2, capaz de medir a 420 nm, celdas de 1 cm de longitud, una centrífuga Labnet modelo Spectrafuge 24D con capacidad máxima de 13000 rpm, un termo baño Felisa modelo FE373 con capacidad máxima de 80 °C, y una balanza analítica Ohaus modelo HR-200 capacidad máxima de 210 g y una precisión de .0001 g.

### **Actividad catalasa**

La extracción se realizó a partir de 0.5 g de pulpa de tomate sin cáscara en 5 mL de buffer de fosfatos 100 mM de pH 7, 50 mg de polivinilpirrolidona en un mortero previamente enfriado a 4 °C, la mezcla se centrifugó a 183.3 Hz por 11 min a 4 °C. En el sobrenadante se obtuvo la enzima (Masia, 1998).

Para la determinación de la actividad enzimática de la catalasa (EC 1. 11. 1. 6. IUBMB, 2007a) se prepararon 5 mL de la mezcla de reacción en un tubo de ensaye que contenía:

300  $\mu$ M de buffer de fosfatos 100 mM pH 6.8, 100  $\mu$ M de  $\text{H}_2\text{O}_2$  y 1 mL del sobrenadante con la enzima diluido 1:20.

La mezcla de reacción se incubó por un minuto en un baño de agua a temperatura constante de 25 °C, la reacción fue detenida al agregar 10 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 2% (v/v). El peróxido de hidrógeno residual se tituló con una solución de KMnO<sub>4</sub> 0.2 M hasta obtener un color púrpura débil que persistió al menos 15 s. Una unidad de catalasa se define como la cantidad de enzima que descompone 1 μM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> min<sup>-1</sup> a 25 °C.

### **Actividad peroxidasa**

Se homogenizaron 0.5 g de pulpa de tomate sin cáscara con 5 mL de buffer de fosfatos 100 mM a pH 6.8, en un mortero previamente enfriado a 4 °C, la mezcla se centrifugó a 216.66 Hz por 15 min a 4 °C. El sobrenadante que contiene la enzima peroxidasa (EC 1. 11. 1. 7. IUBMB, 2007b) se separó y diluyó en proporción 1:20 (v/v).

La actividad enzimática se determinó con 125 μM de buffer de fosfatos 100 mM a pH 6.8, 50 μM de pirogalol, 50 μM de peróxido de hidrógeno y 1 mL de extracto de enzima diluido 1:20 para obtener 5 ml de volumen.

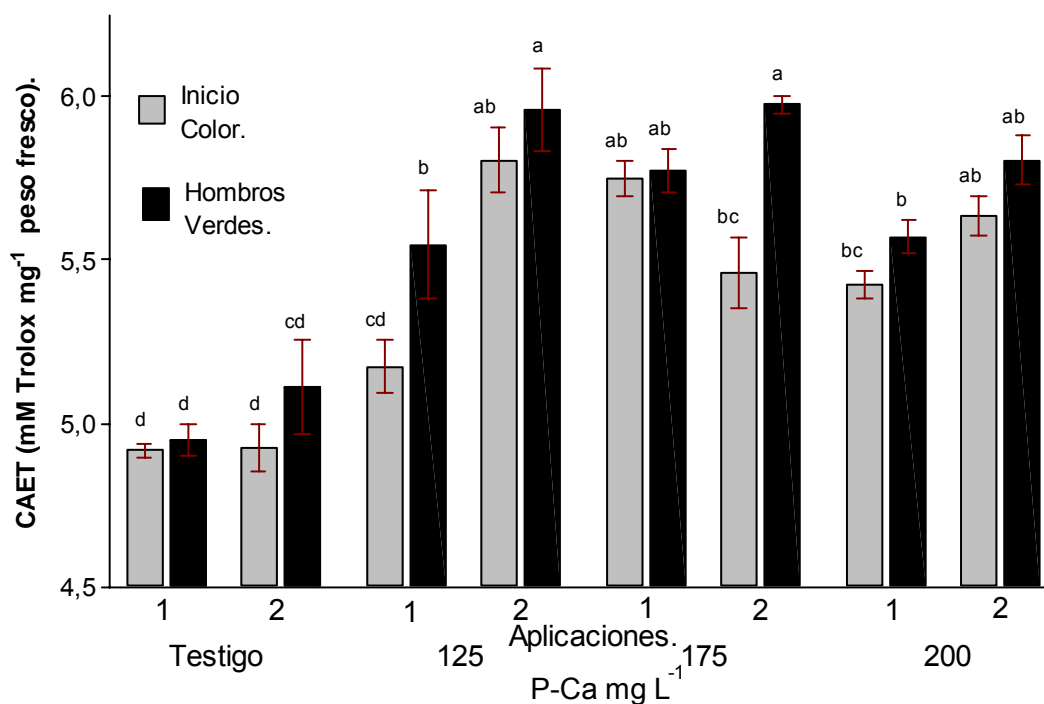
La mezcla de reacción se incubó por un minuto a 25 °C, después se añadieron 0.5 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 5% (v/v) para detener la reacción. La concentración de purpurogalina formada se mide a una absorbancia de 420 nm (A<sub>420</sub>), una unidad de peroxidasa es igual a 0.1 de A<sub>420</sub> (Kar y Mishra, 1976).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Hasta la fecha no existe literatura donde se señale la posible influencia de prohexadiona de calcio en el contenido de antioxidantes totales en frutos, sin embargo se sabe que P-Ca es capaz de modificar la ruta biosintética de los

flavonoides en los manzanos, generando nuevos flavonoides que al parecer poseen actividad antioxidante en hojas jóvenes de manzanos tratados (Gosch *et al.*, 2003; Halbwirth *et al.*, 2003; Roemmelt *et al.*, 2003a; Roemmelt *et al.*, 2003b).

La capacidad antioxidante total (Figura 1) mostró diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) en su triple interacción (dosis-aplicaciones-estado de madurez).



**Figura 1.** Capacidad antioxidante equivalente a Trolox en frutos de tomate bola variedad Floradade provenientes de plantas tratadas con prohexadiona de calcio.

Cada punto representa el promedio de 3 repeticiones  $\pm$  error estándar.

Con prueba de Duncan  $P \leq 0.01$ .

En los frutos provenientes de plantas testigo, se encontró una menor CAET por cada mg de peso fresco en comparación con los frutos provenientes de las



plantas que recibieron 125, 175 y 200 mg·L<sup>-1</sup> de P-Ca, con una y dos aplicaciones. Esta diferencia altamente significativa ( $P \leq 0.01$ ) parece señalar al retardante como un promotor del sistema antioxidante en el fruto del tomate. Los frutos testigo, en su estadio de hombros verdes registraron una mayor CAET en comparación con los frutos en su estadio de inicio de color. Jiménez *et al.* (2002) reportaron que los niveles de antioxidantes en la fase acuosa, glutatión y ascorbato se acrecentaron durante el proceso de maduración del fruto de tomate, estos incrementos fueron asociados con cambios significativos en el estatus redox del fruto. Además, registraron cambios en actividad enzimática de superóxido dismutasa, catalasa y de las enzimas que intervienen en el ciclo ascorbato–glutatión durante la maduración del fruto de tomate, indicando que el sistema antioxidante desempeña un papel primordial en la maduración de los frutos de tomate.

La aplicación de 125 mg L<sup>-1</sup> de P-Ca incrementó de manera altamente significativa ( $P \leq 0.01$ ) la CAET en frutos de tomate en comparación con el testigo, y dos aplicaciones de P-Ca a dosis de 125 mg L<sup>-1</sup> fue estadísticamente superior que una sola aplicación.

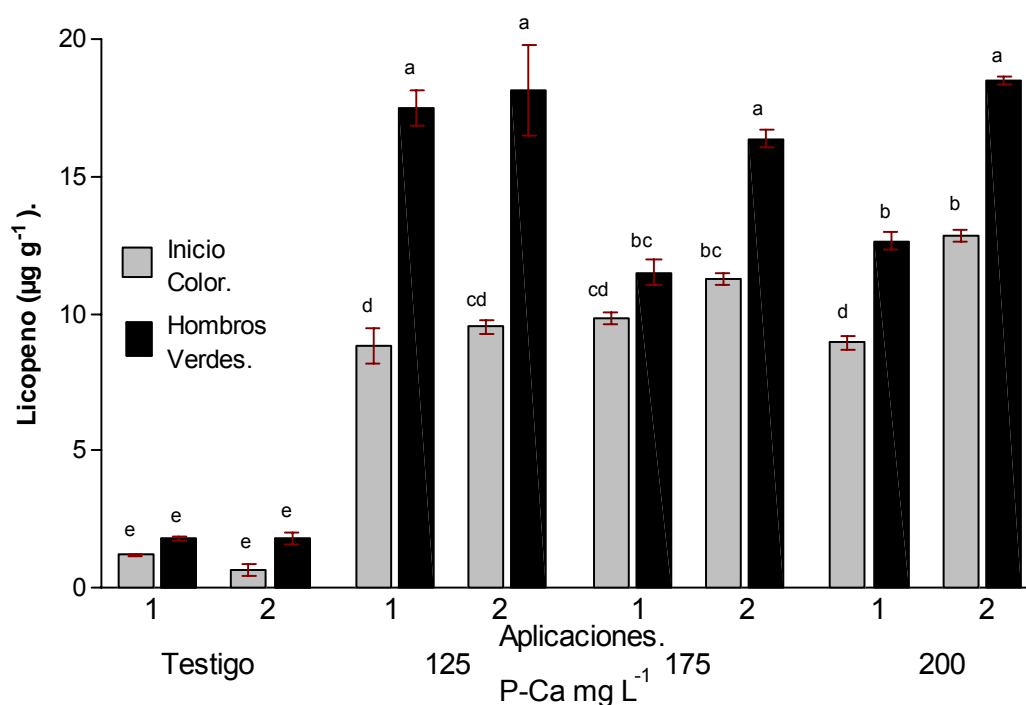
Esta dosis de P-Ca mostró una tendencia consistente a incrementar la CAET en frutos de tomate de acuerdo al estadio de maduración inicio de color y hombros verdes, y al número de aplicaciones (una y dos respectivamente), la mayor CAET dentro de esta dosis se registró en el estadio de hombros verdes con dos aplicaciones. En tanto, la dosis de 175 mg L<sup>-1</sup> de P-Ca no mostró una tendencia clara en la CAET de los frutos provenientes de plantas tratadas, sin embargo, la CAET fue mayor en frutos en estadio de hombros verdes en

comparación con frutos en estadio de inicio de color ( $P \leq 0.01$ ). El estadio inicio de color con una sola aplicación de  $175 \text{ mg L}^{-1}$  de P-Ca fue superior al estadio inicio de color con dos aplicaciones, esto sugiere que probablemente, la dosis de  $175 \text{ mg L}^{-1}$  de P-Ca afecta la CAET de los frutos de tomate al aplicarse a las plantas en dos ocasiones y evaluar los frutos en su estadio de inicio de color. La dosis de  $200 \text{ mg L}^{-1}$  de P-Ca mostró una tendencia muy similar a la que presentó la dosis  $125 \text{ mg L}^{-1}$  de P-Ca, incrementando la CAET en los frutos de tomate provenientes de plantas tratadas con dicha dosis en estadio inicio de color y hombros verdes, con una y dos aplicaciones respectivamente, a pesar de existir una diferencia altamente significativa ( $P \leq 0.01$ ) dichos incrementos fueron menos notorios que los observados en la dosis de  $125 \text{ mg L}^{-1}$  de P-Ca atribuyendo la diferencia esencialmente en el número de aplicaciones; dos aplicaciones de la dosis  $200 \text{ mg L}^{-1}$  de P-Ca es mayor que una sola aplicación de la misma dosis (Figura 1). Las diferencias entre las tres dosis empleadas del retardante en su interacción número de aplicaciones-estadio de maduración sugieren que el efecto principal en las diferencias registradas se debió primordialmente a las dosis de P-Ca utilizadas. Estos resultados, concuerdan con lo reportado por Disegna *et al.* (2002) que al realizar aplicaciones repetidas de P-Ca en uvas para vino, encontraron frutas con un mayor contenido de antocianinas (frutos más rojos y negros), con una mayor persistencia e intensidad aromática. Martínez *et al.* (2002), al cuantificar la actividad antioxidante de nueve variedades de tomates, empleando dos métodos (DPPH y CAET) reportaron una diferencia significativa entre variedades y el método empleado. Se plantea que dichas diferencias existentes entre métodos se debe

básicamente al principio en el cual se desarrolló cada uno (Cao y prior, 1998; Young, 2001; Prior *et al.*, 2003; Chiu *et al.*, 2004). Wang *et al.* (1996) al determinar la capacidad antioxidante en frutos de tomate con el método ORAC, reportaron 1.89 mM Trolox  $\text{g}^{-1}$  de peso fresco, en nuestro experimento empleando el método CAET se obtuvieron valores entre 4.9 y 5.1 mM Trolox  $\text{g}^{-1}$  de peso fresco en frutos provenientes de plantas testigos.

Todo esto permite hipotetizar que P-Ca puede presentar cierta acción en la biosíntesis de los metabolitos secundarios.

La concentración de licopeno en frutos de tomate provenientes de plantas tratadas mostró diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) en su triple interacción (Figura 2).



**Figura 2.** Contenido de licopeno en frutos de tomate bola variedad Floradade provenientes de plantas tratadas con prohexadiona de calcio. Cada Punto representa el promedio de 3 repeticiones  $\pm$  error estándar. Con prueba de Duncan  $P \leq 0.01$ .

Los frutos testigo, con una y dos aplicaciones y en sus estadios de madurez inicio color y hombros verdes no mostraron diferencias estadísticas entre ellos, sin embargo, numéricamente se registró una mayor concentración de licopeno en aquellos frutos que se encontraban en su estadio de hombros verdes en comparación con los frutos de inicio de color (Figura 2).

Dentro de la dosis  $125 \text{ mg L}^{-1}$  de P-Ca existió diferencia altamente significativa ( $P \leq 0.01$ ) entre los estadios de maduración con una y dos aplicaciones de la dosis empleada registrando la mayor concentración de licopeno aquellos frutos que se encontraban en su estadio de maduración hombros verdes en comparación con los frutos en inicio de color, además, no se detecta una diferencia estadística, pero si numérica en cuanto al efecto por el número de aplicaciones. Aquí, fue un poco mayor la concentración de licopeno en el fruto de tomate provenientes de plantas que recibieron dos aplicaciones en contraste con aquellas plantas que solo recibieron una sola aplicación en ambos estadios. En esta dosis, se registró el mayor incremento de la concentración de licopeno en los frutos de tomate al comparar los dos estadios. Esto sugiere que la dosis de  $125 \text{ mg L}^{-1}$  de P-Ca es la óptima para incrementar la concentración de licopeno en el fruto cuando este alcance la madurez. El efecto de  $175 \text{ mg L}^{-1}$  de P-Ca tuvo una tendencia a incrementar la concentración de licopeno en el fruto de tomate. Los valores reportados para esta dosis en su estadio de inicio de color son similares a los registrados para la dosis  $125 \text{ mg L}^{-1}$  de P-Ca en el mismo estadio de madurez. A pesar de que existió una diferencia altamente significativa ( $P \leq 0.01$ ) entre el inicio de color y hombros verdes, estos incrementos en una y dos aplicaciones de la dosis, no

son tan notorios como lo son en la dosis de  $125 \text{ mg L}^{-1}$  de P-Ca. Con  $200 \text{ mg L}^{-1}$  de P-Ca existió una tendencia similar a la registrada por  $175 \text{ mg L}^{-1}$  de P-Ca, pero sus incrementos fueron mayores, teniendo diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ); existió una clara diferencia entre una y dos aplicaciones de las dosis, donde dos aplicaciones registró la mayor concentración de licopeno en el fruto en comparación con una sola aplicación de la dosis referida; la mayor concentración de licopeno nuevamente se registra en los frutos en hombros verdes en comparación con los frutos al inicio de color. Existió una tendencia consistente en poseer una mayor concentración de licopeno en aquellos frutos provenientes de plantas que recibieron dos aplicaciones en lugar de una, aumentando conforme se incrementa la dosis de P-Ca; y el factor primordial en la concentración de licopeno en el fruto es el estadio de maduración, puesto que frutos avanzados en su maduración (hombros verdes) siempre registraron una mayor concentración de licopeno comparándolos con frutos en estadio de inicio de color.

Lo anterior concuerda con lo reportado por Núñez *et al.* (2005) y Bramley (2002) que encontraron un incremento significativo en la concentración de licopeno, conforme el fruto avanzaba en su estado de madurez, reportando que las concentraciones menores de licopeno se encontraban en los frutos verdes e inicio de color y la mayor concentración en los frutos en estadio de hombros verdes a totalmente rojos. Existen varios factores para que varíe la concentración del licopeno en frutos del tomate, como lo son el sistema de producción (Núñez *et al.*, 2005), por el ciclo de cultivo que presente (Ciruelos *et*

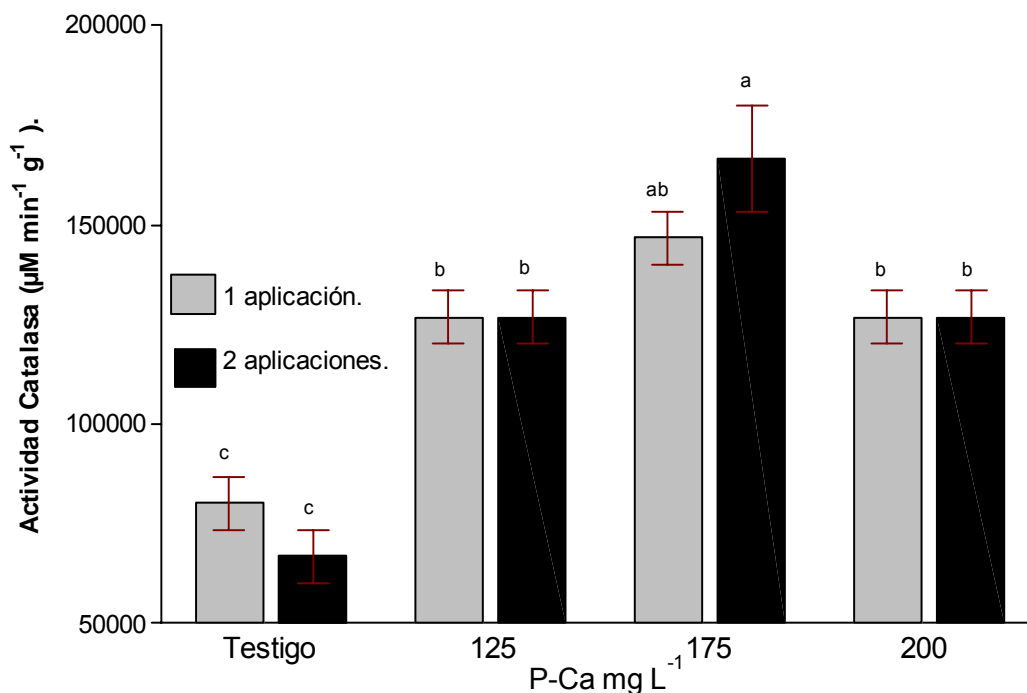
*al.*, 2003), si se encuentran injertados (Núñez *et al.*, 2005) o bien por la variedad (Jiménez *et al.*, 2002; Martínez *et al.*, 2002).

No existe información sobre el efecto de prohexadiona de calcio en la actividad enzimática en el fruto del tomate, se sabe que este retardante afecta algunas enzimas que se encuentran ligadas en la biosíntesis de flavonoides en el manzano.

Además, de manera natural, la actividad enzimática durante el proceso de maduración del fruto de tomate se incrementa. En dicha etapa se esperan los valores más altos de actividad de enzimas antioxidantes (Andrews *et al.*, 2004), entre ellas la poligalacturonasa (Crookes y Grierson, 1983), superóxido dismutasa, y la catalasa (Jiménez *et al.*, 2002). Soh *et al.* (1994) reportaron que concentraciones de  $10^{-4}$  M de P-Ca inhibieron la actividad de la oryzaina y la  $\alpha$ -amilasa en granos completos de arroz.

Dentro de la determinación de la actividad catalasa en los frutos de tomate provenientes de plantas tratadas con el retardante mostraron una diferencia altamente significativa ( $P \leq 0.01$ ) en la interacción dosis-número de aplicaciones (Figura 3).

Los frutos provenientes de plantas del tratamiento testigo mostraron los valores menores con respecto a las tres dosis de P-Ca empleadas. Al emplearse  $125 \text{ mg L}^{-1}$  de P-Ca incrementó de manera altamente significativa ( $P \leq 0.01$ ) la actividad catalasa con respecto al testigo, sin embargo, no existió diferencia entre una y dos aplicaciones de la dosis referida (Figura 3).



**Figura 3.** Actividad catalasa en frutos de tomate bola variedad Floradade provenientes de plantas tratadas con prohexadiona de calcio.

Cada punto representa la media de 3 repeticiones  $\pm$  error estándar.

Con prueba de Duncan  $P \leq 0.01$ .

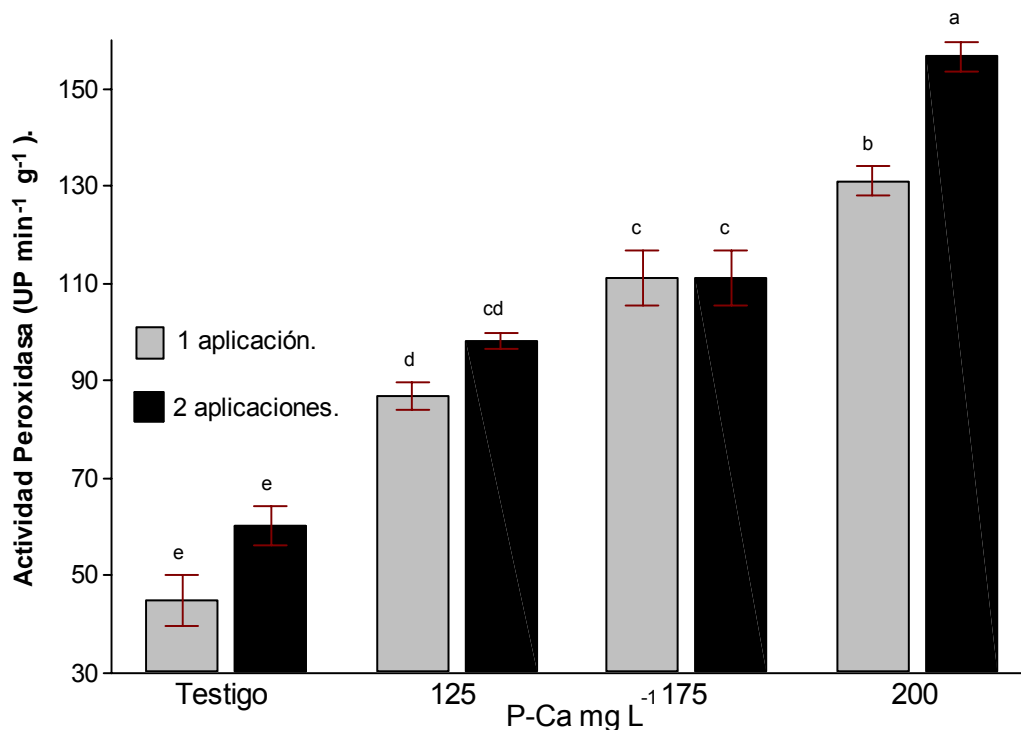
La dosis 175 mg L<sup>-1</sup> de P-Ca registró los valores mas altos de actividad catalasa en el fruto, superando al testigo, 125 y 200 mg L<sup>-1</sup> de P-Ca, existiendo una notable diferencia entre una y dos aplicaciones de 175 mg L<sup>-1</sup> de P-Ca, dos aplicaciones de P-Ca mostró la mayor actividad catalasa en fruto de tomate. La aplicación de 200 mg L<sup>-1</sup> de P-Ca registró resultados similares a 125 mg L<sup>-1</sup> de P-Ca, no detectándose diferencia entre una y dos aplicaciones de 200 mg L<sup>-1</sup> de P-Ca. Estos resultados hacen suponer que la actividad catalasa posee un punto máximo de saturación ante el efecto de prohexadiona de calcio, el cual puede encontrarse entre las dosis de 175 y 200 mg L<sup>-1</sup>.

La catalasa es una enzima relacionada con el control celular de los niveles de especies activas de oxígeno, cataliza la dismutación del peróxido de hidrógeno en agua y oxígeno (Acevedo y Scandalios, 1991). Un aumento en los niveles de actividad catalasa se relacionan con una mayor tolerancia al daño oxidativo por frío (Lafuente *et al.*, 2004). Puede suponerse, que el efecto fue consecuencia de la activación de algunos genes relacionados con la defensa celular contra el estrés (Ding *et al.*, 2002).

Por su parte la actividad peroxidasa mostró una diferencia altamente significativa ( $P \leq 0.01$ ) entre las dosis empleadas de P-Ca y el número de aplicaciones de estas (Figura 4).

En tanto, 125 mg L<sup>-1</sup> de P-Ca con una y dos aplicaciones incrementó de manera altamente significativa ( $P \leq 0.01$ ) la actividad peroxidasa, dos aplicaciones de 125 mg L<sup>-1</sup> de P-Ca fue mayor estadísticamente que una sola aplicación. La dosis 175 mg L<sup>-1</sup> de P-Ca incrementó la actividad peroxidasa en una y dos aplicaciones con respecto a la dosis de 125 mg L<sup>-1</sup> de P-Ca, no hubo diferencias entre una y dos aplicaciones. La dosis 200 mg L<sup>-1</sup> de P-Ca también incrementó la actividad peroxidasa, superando todas las dosis anteriormente expuestas, reflejando una diferencia altamente significativa ( $P \leq 0.01$ ) entre dos y una aplicación de la dosis mas alta. Al parecer, aun es posible generar una mayor actividad peroxidasa en frutos de tomate al incrementar la dosis de prohexadiona de calcio.





**Figura 4.** Actividad peroxidasa en frutos de tomate bola variedad Floradade provenientes de plantas tratadas con prohexadiona de calcio. Cada punto representa la media de 3 repeticiones  $\pm$  error estándar. Con prueba de Duncan  $P \leq 0.01$ .

Lepeduš *et al.* (2001) reportaron que la actividad peroxidasa aumentó al aplicar altas temperaturas como inductor de tolerancia al estrés en frutos de mandarina. Edreva *et al.* (1993) concluyeron que existe una estrecha relación entre los altos niveles de peroxidasa en los tejidos y la tolerancia a la baja temperatura en trigo. Por otra parte, la activación de la enzima peroxidasa está correlacionada con las respuestas de defensa del fruto en presencia de patógenos (Maksimov *et al.*, 2003).

## CONCLUSIONES

Con base a los resultados obtenidos y bajo las condiciones en que se realizó el trabajo experimental, se concluye lo siguiente: Prohexadiona de calcio aumenta notablemente la capacidad antioxidante total y la concentración de licopeno en frutos de tomate en los estadios de maduración inicio de color y hombros verdes. La actividad de las enzimas peroxidasa y catalasa en frutos de tomate maduros se incrementa significativamente con el retardante del crecimiento.

## LITERATURA CITADA

- Acevedo, A., and J.C. Scandalios. 1991. Catalase and superoxide dismutase gene expression and distribution during stem development in maize. *Developmental Genetics* 12(6): 423-430.
- Andrews, P. K., D. A. Fahy, and C. H. Foyer. 2004. Relationships between fruit exocarp antioxidants in the tomato (*Lycopersicon esculentum*) high pigment<sup>-1</sup> mutant during development. *Physiologia Plantarum* 120(4): 519-528.
- Bramley, P. M. 2002. Regulation of carotenoid formation during tomato fruit ripening and development. *Journal of Experimental Botany* 53(377): 2107-2113.
- Cao, G., and R. L. Prior. 1998. Comparison of different analytical methods for assessing total antioxidant capacity of human serum. *Clinical Chemistry* 44(6): 1309-1315.

- Chiu, C., C. Yan, K. On, K. Wai, K. Sun, M. Scott, and C. Pui. 2004. Trolox-equivalent antioxidant capacity assay versus oxygen radical absorbance capacity assay in plasma. *Clinical Chemistry* 50(5): 952-954.
- Cinta, G., M. Almagro, y T. M. Llabrés. 2004. *Estadística práctica con minitab*. Pearson educación, S. A. Madrid, España 448 pp.
- Ciruelos, A., R. De la torre, C. González, A. Arenas, y J. López. 2003. Estudio comparativo del contenido en pigmentos carotenoides en variedades de distinto ciclo vegetativo de tomate de industria. *Actas de Horticultura* 39: 361-362.
- Crookes, P. R., and D. Grierson. 1983. Ultrastructure of tomato fruit ripening and the role of polygalacturonase isoenzymes in cell wall degradation. *Plant Physiology* 72: 1088-1093.
- Davis, A. R., W. W. Fish, and P. Perkins. 2003. A rapid hexane – free for analyzing lycopene content in watermelon. *Journal of Food Science* 68(1): 328-332.
- Ding, C. K., C. Wang, K. C. Gross, and D. L. Smith. 2002. Jasmonate and salicylate induce the expression of pathogenesis-related-protein genes and increase resistance to chilling injury in tomato fruit. *Planta* 214(6): 985-901.
- Disegna, E., E. Boido, F. Carrau, L. Fariña, K. Medina, M. Méndez, P. Rodríguez, y E. Dellacassa. 2006. Efectos de la aplicación del regulador del crecimiento 3,5-dioxo-4-propionilciclohexancarboxilato

de calcio (BAS 125) en la producción de uvas, composición del vino y aroma del cv. "tannat". <http://www.inia.org.uy/eventos/M&E-9.pdf> (20 de agosto de 2006).

- Edreva, A., G. Salcheva, and D. Georgieva. 1993. Stress damage is related to peroxidase induction in wheat plants. *In: Plant Peroxidases, Biochemistry and physiology*. Eds. Welinder, K. G., Rasmussen, S. Penel, K. C. and Greppin, H. University of Geneva. 401-404.
- Evans, J. R., R. R. Evans, C. L. Regusci, and W. Rademacher. 1999. Mode of action, metabolism, and uptake of BAS 125 W, prohexadione-calcium. *HortScience* 34(7): 1200-1201.
- Fish, W. W., P. Perkins, and J. K. Collins. 2002. A quantitative assay for lycopene that utilizes reduced volumes of organic solvents. *Journal of Food Composition and Analysis* 15(3): 309-317.
- Gosch, C., I. Puhl, H. Halbwirth, K. Schlangen, S. Roemmelt, C. Andreotti, G. Costa, T. C. Fischer, D. Treutter, K. Stich, and G. Forkmann. 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.
- Halbwirth, H., T. C. Fischer, S. Roemmelt, F. Spinelli, K. Schlangen, S. Peterek, E. Sabatini, C. Messina, J. B. Speakman, C. Andreotti, W. Rademacher, C. Bazzi, G. Costa, D. Treutter, G. Forkmann, and K. Stich. 2003. Induction of antimicrobial 3-deoxyflavonoids in pome fruit trees controls fire blight. *Zeitschrift für Naturforschung* 58: 765-770.

- IUBMB. 2007a. Enzyme Nomenclature (Catalase). Consultado 2 de marzo de 2007. <http://www.chem.qmul.ac.uk/iubmb/enzyme/EC1/11/1/6.html>
- IUBMB. 2007b. Enzyme Nomenclature (Peroxidase). Consultado 2 de marzo de 2007. <http://www.chem.qmul.ac.uk/iubmb/enzyme/EC1/11/1/7.html>
- Jimenez, A., G. Creissen, B. Kular, J. Firmin, S. Robinson, M. Verhoeven, and P. Mullineaux. 2002. Changes in oxidative processes and components of the antioxidant system during tomato fruit ripening. *Planta* 214(5): 751-758.
- Jordan, D. L., J. S. Barnes, C. D. Bogle, R. L. Brandenburg, J. E. Bailey, P. D. Jonson, and A. S. Culpepper. 2003. Peanut response to cultivar selection, digging date and tillage intensity. *Agronomy Journal* 95: 380-385.
- Kar, M., and D. Mishra. 1976. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. *Plant Physiology* 57: 315-319.
- Lafuente, M. T., J. M. Sala, and L. Zacarias. 2004. Active oxygen detoxifying enzymes and phenylalanine ammonia-lyase in the ethylene-induced chilling tolerance in citrus fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52(11): 3606-3611.
- Lepeduš, H., M. Jozić, I. Štolfa, N. Pavičić, B. K. Hackenberger, and V. Cesar. 2005. Changes in peroxidase activity in the peel of unshiu mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) fruit with different storage treatments. *Food Technology and Biotechnology* 43(1): 71-77.
- Maksimov, I. V., E. A. Cherepanova, and R. M. Khairullin. 2003. Chitin-specific peroxidases in plants. *Journal Biochemistry* 68(1): 111-115.

- Martínez, I., M. J. Periago, G. Provan, and A. Chesson. 2002. Phenolic compounds, lycopene and antioxidant activity in commercial varieties of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 82(3): 323-330.
- Masia, A. 1998. Superoxide dismutase and catalase activities in apple fruit during ripening and post-harvest and with special reference to ethylene. *Physiologia Plantarum* 104: 668-672.
- Miller, N. J., C. Rice, M. J. Davies, V. Gopinathan, and A. Milner. 1993. A novel method for measuring antioxidant capacity and its application to monitoring the antioxidant status in premature neonates. *Clinical Science* 84(4): 407-412.
- Núñez, N. E., N. García, M. G. Medina, R. Miranda, A. Rodríguez, y D. Hernández. 2005. Efecto sobre el contenido de licopeno de tomate (*Lycopersicon esculentum* var. Gironda) sembrado en invernadero bajo diferentes sistemas de cultivo con y sin injerto. VII Congreso Nacional de Ciencia de los Alimentos y III Foro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos: 340-345.
- Prior, R. L., H. Hoang, L. Gu, X. Wu, M. Bacchiocca, L. Howard, M. Hampsch, D. Huang, B. Ou, and R. Jacob. 2003. Assays for hydrophilic and lipophilic antioxidant capacity (oxygen radical absorbance capacity (ORACFL)) of plasma and other biological and food samples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51: 3273-3279.

- Rademacher, W. 1993. On the mode of action of acylcohexadiones- a new type of plant growth retardant with possible relationships to daminozide. *Acta Horticulturae* 329: 31-34.
- 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.
- Roemmelt, S., N. Zimmermann, W. Rademacher, and D. Treutter. 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., T. C. Fischer, H. Halbwirth, S. Peterek, K. Schlangen, J. B. Speakman, D. Treutter, G. Forkmann, and K. Stich. 2003b. Effect of dioxygenase inhibitors on the resistance-related flavonoid metabolism of apple and pears: Chemical, biochemical and molecular biological aspects. *European Journal of Horticultural Science* 68(3): 129-136.
- SAS Institute. 2000. SAS/STAT. User's Guide. Release 8.1 ed. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina.
- Soh, C. H., Y. Kamiya, S. Yoshida, H. Yamane, and N. Takahashi. 1994. Effects of gibberellins and Prohexadione on the activities of oryzain and  $\alpha$ -amylase in rice seeds. *Plant and Cell Physiology* 35(7): 1037-1042.
- Wang, H., G. Cao, and R. L. Prior. 1996. Total antioxidant capacity of fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 44(3): 701-705.
- Young, I. S. 2001. Measurement of total antioxidant capacity. *Journal of Clinical Pathology* 54(5): 339.

## CONCLUSIONES GENERALES

Con base a los resultados obtenidos y bajo las condiciones en que se realizo el trabajo experimental, se concluye lo siguiente:

Primera etapa: Prohexadiona de calcio aplicado a dosis de 125, 175 y 200 mg L<sup>-1</sup> en plántulas de tomate saladette disminuyó el contenido de giberelinas A<sub>4</sub> y A<sub>7</sub>, y se identificó la giberelina A<sub>20</sub>. En plántulas de chile pimiento disminuyó el contenido de A<sub>4</sub> y A<sub>7</sub>, y se identificaron las giberelinas A<sub>20</sub> y A<sub>53</sub>.

Segunda etapa: Prohexadiona de calcio aplicado a dosis de 125. 175 y 200 mg L<sup>-1</sup> en una y/o dos ocasiones en plantas de tomate, aumenta el número de racimos y frutos por planta, además de la firmeza de los frutos; disminuye la biomasa, los sólidos solubles totales y el peso de los frutos. Aumenta notablemente la capacidad antioxidante total y la concentración de licopeno en frutos de tomate en los estadios de maduración inicio de color y hombros verdes. La actividad de las enzimas peroxidasa y catalasa en frutos de tomate maduros se incrementa significativamente con el retardante del crecimiento.



## LITERATURA CITADA

- Bajaj, K. L.; Majan, R. P. P.; Cheema, D. S. 1990. Evaluación química de algunas variedades de tomates. J. Res. Punjab, Agric. Univ. 27: 226-230.
- Benavides, A. 2002. Ecofisiología y Bioquímica Del Estrés de las Plantas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 287 pp.
- Brady, J. 1987. Fruit ripening. Annual Review of Plant Physiology 38:155-178.
- Crokers, P.; Grierson, D. 1983. Ultrastructure of tomato fruit ripening and the role of poligalacturonasa isoenzymes in cell wall degradation . Plant Physiology 72: 1088-1093.
- Del Río, L. A.; Corpas, F. J.; Sandalio, L. M.; Palma, J. M.; Gómez, M.; Barroso, J. B. 2002. Preactive oxygen species, antioxidant systems and nitric oxide in peroxisomes. Journal of Experimental Botany 53(372): 1255-1272.
- Devasagayam, T. P.A.; Tilak, J. C.; Boldoor, K. K.; Sane, K. S.; Ghaskadbi, S. S.; Lele, R. D. 2004. Free radicals and antioxidants in human health: Current status and future prospects. Journal of the Association Physicians of India 52:794-804.
- Di mascto, P.; Kaiser, S.; Sies, H. 1989. Lycopene as the most efficient biological carotenoide single oxygen quencher. Archives of Biochemistry and Biophysics 274: 532-538.

- Foyer, C. H.; López, H.; Dat, J. F.; Scott, I. M. 1997. Hydrogen peroxidase and glutathione associated mechanism of acclamatory stress tolerance and signaling. *Physiologia Plantarum* 100: 241-254.
- Ibave, J. L. 2005. Fitoquímicos: Su importancia en la salud humana. XI Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas 209-229.
- Jean, A.; Regine, F. 1990. Ciencia de los alimentos de la A a la Z. Zaragoza, España, Acribia S.A. 525 pp.
- Klein, B. P.; Kurilich, A. C. 2000. Processing effects on dietary antioxidants from plant foods. *HortScience* 35(4): 580-584.
- Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *TRENDS in Plant Science* 7(9): 405-410.
- Nisen, A.; Grafiadehis, M.; Jiménez, R.; Martínez, P. F. 1990. Protected cultivation in the Mediterranean climate. FAO, Plant Production and Protection. Paper No. 90. Rome, Italy.
- Nuez, F. 2001. El cultivo del tomate. Ediciones Mundi-prensa. México, 793 pp.
- Valadez López, Artemio. 1998. Producción de Hortalizas. Editorial LIMUSA, México. D. F. 565 pp.
- Pastori, G. M.; Foyer, C. H. 2002. Common components, networks, and pathways of cross-tolerance to stress. The central role of "redox" and abscísico acid mediated controls. *Plant Physiology* 129: 460-468.
- Polder, G.; van der Heijden, G. W. A. M.; van der Voet, H.; Young, I. T.; 2004. Measuring surface distribution of carotenes and chlorophyll in

ripening tomatoes using imaging spectrometry. *Postharvest Biology and technology* 34: 117-129.

Prior, R. L.; Cao, G. 2000. Antioxidant phytochemicals in fruits and vegetables: Diet and health implications. *HortScience* 35(4): 588-592.

Shigeoka, S.; Ishikawa, T.; Tamoi, M.; Miyagawa, Y.; Takeda, T.; Yabuta, Y.; Yoshimura, K. 2002. Regulation and function of ascorbate peroxidase isoenzymes. *Journal of Experimental Botany* 53(372): 1305-1319.

Vranová, E.; Inzé, D.; Breusegem, F. V. 2002. Signal transduction during oxidative stress. *Journal of Experimental Botany* 53(372): 1227-1236.