

EFFECTO DE P-CA EN TOMATE
(*Lycopersicon esculentum* Mill), Y SU RELACION
CON GIBERELINAS Y CITOCININAS

ROCIO MARICELA PERALTA MANJARREZ

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para

Obtener el Grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
EN HORTICULTURA



BIBLIOTECA
EGIDIO G. REBONAT
BANCO DE TESIS
U.A.A.A.N.



UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
PROGRAMA DE GRADUADOS

*Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
Febrero de 2004*

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

**EFFECTO DE P-CA EN TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.)
Y SU RELACIÓN CON GIBERELINAS Y CITOCININAS**

TESIS POR

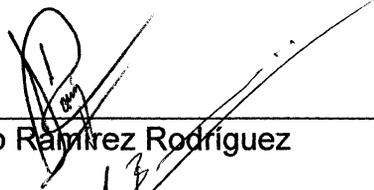
ROCIO MARICELA PERALTA MANJARREZ

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

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN HORTICULTURA**

COMITÉ PARTICULAR

Asesor Principal



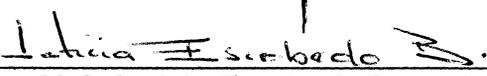
Dr. Homero Ramírez Rodríguez

Asesor

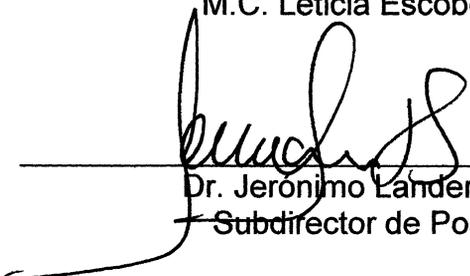


Dr. Adalberto Benavides Mendoza

Asesor



M.C. Leticia Escobedo Bocardo



Dr. Jerónimo Landeros Flores
Subdirector de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, Febrero de 2004

AGRADECIMIENTOS

A **DIOS** por darme la dicha de estar viva y por mostrarme que cada día es una nueva oportunidad que tenemos para ser mejores, y por que a pesar de todo nunca se ha ido de mi lado.

A la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**, por la oportunidad de continuar preparándome profesionalmente.

Con todo respeto al **DR. HOMERO RAMÍREZ RODRÍGUEZ**, por el apoyo y tiempo brindado para la realización de esta investigación. Pero sobre todo mi sincero agradecimiento por la confianza que deposito en mi al fungir como asesor principal y por todos los consejos transmitidos.

Al **DR. ADALBERTO BENAVIDES MENDOZA**, por el apoyo brindado y la disponibilidad para la culminación de este trabajo.

A la **MC. LETICIA ESCOBEDO BOCARDO**, por su disponibilidad en la culminación de este trabajo.

A la **TQL. DORA ELIA GUEVARA BANDA** por los apoyos brindados en la realización de este trabajo y por su amistad durante todo este tiempo.

A la **ING. SARET ALONSO CORONA**, por formar parte especial en la realización de este trabajo, por su valiosa amistad, confianza y apoyo incondicional, quien con mucho cariño y comprensión compartió conmigo todo este tiempo tan importante para mi. Gracias Saret por formar parte de mi vida.

Al **ING. CARLOS DANIEL BURGOS LIMÓN**, por el apoyo y tolerancia, pero sobre todo por la amistad brindada este tiempo.

DEDICATORIA

A mi Padre Braulio Peralta González, con todo respeto y admiración, por ser el motor que me mantiene en pie cada día de mi vida. A ti que me has enseñado a salir siempre adelante sin importar la adversidad, por ser ejemplo de un gran hombre. Con amor para ti mi viejo querido, que sin ti no estaría donde estoy.

A mi Mamá Ana Ma. F. Manjarrez Ramírez, por darme la vida y ser el sostén de mi vida, por la confianza y el amor que me das. A ti señora bonita por ser uno de los motivos para seguir adelante y por estar siempre ahí para apoyarme.

A mis hermanos Julieta, Vicente, Teresa y Juan, por formar una parte fundamental de mi vida, por ese apoyo y comprensión que me tuvieron para que pudiera concluir otra meta mas y por el amor que siempre me han dado en las etapas mas difíciles de mi vida.

A mis angelitos Maximiliano, Sebastián, Ana y Camila, por ser parte de la alegría de la familia.

A la familia Rosales Ramos, por el cariño que siempre me han manifestado y por considerarme parte de ellos.

A mis amigos, Saret, Nacho, Joel, Eliseo, Daniel, Juan Carlos, Jorge, Rosenda, Alexander, Abel, Jesús Fuantos, Elfego, José Manuel, Antero, Hugo, Francisco, Mildred, Fabiola, Sonia, Karina, Lucy, Martín, Ernesto, Beto y a todas las personas que formaron parte especial en mi vida durante mi estancia en este lugar, por su gran amistad, apoyo incondicional y preocupación por mi, pero sobre todo por ser ya parte de una etapa importante de mi vida.

Rocio Maricela Peralta Manjarrez

COMPENDIO

Efectos de P–Ca en Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y su Relación con Giberelinas y Citocininas

POR

ROCIO MARICELA PERALTA MANJARREZ

MAESTRIA

HORTICULTURA

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

Buenavista, Saltillo, Coahuila. Febrero 2004

Dr. Homero Ramírez Rodríguez. – Asesor -

Palabras clave: P-Ca, tomate, hormonas endógenas.

La investigación se realizó con el propósito de conocer los efectos de prohexadiona–Ca sobre el crecimiento vegetativo-reproductivo y su relación con giberelinas y citocininas endógenas en híbridos experimentales de tomate

(*Lycopersicon esculentum* Mill.) tipo saladette con hábito de crecimiento determinado e indeterminado.

Se aplicó el retardante de crecimiento a plantas de tomate en invernadero cuando estas alcanzaron 12 hojas verdaderas a concentraciones de 0 (testigo), 175 y 250 mg·litro⁻¹. Los resultados mostraron que las concentraciones utilizadas del bioregulador provocaron una notable reducción en la altura de la planta durante seis días posteriores a la aplicación en ambos híbridos estudiados. Este efecto fue revertido a los 19 días después del tratamiento. El número de entrenudos, número de hojas y diámetro de tallo fueron incrementados por los tratamientos. El número de racimos y frutos, peso del fruto, sólidos solubles, firmeza del fruto y producción por planta también se incrementaron con prohexadiona de calcio, mientras que el radio del fruto no fue afectado. Las dosis de P-Ca utilizadas, redujeron los niveles de giberelinas y aumentaron las citocininas en meristemas apicales. En estos tejidos se identificaron las giberelinas A₁₂ y A₂₀ así como zeatina. En ápices testigo se encontraron giberelinas A₁, A₄ y A₇, además de zeatina.

ABSTRACT

**EFFECTS OF P-Ca ON TOMATO (*Lycopersicon esculentum* Mill.)
RELATED TO GIBBERELLINS AND CYTOKININS**

BY

ROCIO MARICELA PERALTA MANJARREZ

MAESTRIA

HORTICULTURA

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

Buenavista, Saltillo, Coahuila. February 2004

Dr. Homero Ramírez Rodríguez. – Adviser -

Key words: P-Ca, tomato, endogenous hormones.

The present research was conducted with the purpose to learn on the effects of prohexadione – Ca on the vegetative and reproductive growth related to endogenous gibberellins and cytokinins in two experimental saladette tomato

hybrids (*Lycopersicon esculentum* Mill.) with determinate and indeterminate growth habit.

The P-Ca was sprayed when plants reached 12 true leaves at a concentrations of 0 (control), 175 and 250 mg·liter⁻¹. The results showed that both P-Ca concentrations have reduced plant height during six days after treatment in both hybrids. This effect was reverted 19 days after P-Ca treatment. Internodal number, leaf number and shoot diameter were increased with P-Ca treatments in both tomato materials. Fruit and raquis number, fruit weight, fruit firmness, total soluble solids and total plant yield were also increased with P-Ca concentrations; whereas fruit radio was not affected. The concentrations of P-Ca used, have reduced in apical meristems the levels of gibberellins and have increased the cytokinins content. In these tissues, gibberellins A₁₂, A₂₀ and zeatin were identified. In control samples gibberellins A₁, A₄, A₇ and zeatin were found.

INDICE DE CONTENIDO

	PÁGINA
INTRODUCCIÓN	1
Objetivos	5
Hipótesis	5
REVISION DE LITERATURA	6
Importancia del control vegetativo	6
Taxonomía, morfología y fisiología del tomate	7
Técnicas culturales	9
Crecimiento y desarrollo vegetativo	9
Floración y fructificación	10
Tamaño y calidad	11
Biorreguladores de crecimiento	11
Retardantes de crecimiento	12
Prohexadiona de Calcio	13
Acción del Prohexadiona de Calcio	14
Metabolismo de P-Ca	14
Propiedades toxicológicas y ecotoxicológicas.	15
Absorción y translocación	15
ARTICULO	16
CONCLUSIONES	38
LITERATURA CITADA	39

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) es una hortaliza con un alto valor comercial y una enorme importancia mundial, debido a la gran cantidad de divisas que genera a los países que lo producen.

México ocupa el segundo lugar a nivel mundial como país exportador y el décimo lugar como país productor de tomate con volúmenes promedios en la última década cercanos a las 569 mil toneladas anuales y 19 millones de toneladas respectivamente. La superficie cultivada en México es aproximadamente de 100 000 hectáreas, concentrándose el 70 por ciento de la producción en los estados de Sinaloa, Baja California Norte, San Luis Potosí y Michoacán (Muñoz, 2003 y Sánchez *et al.*, 2003).

De la superficie nacional de tomate, para el 2001 se contaba con alrededor de 700 hectáreas cultivadas bajo invernadero. El tomate producido bajo condiciones de invernadero cumple con los estándares de calidad e inocuidad alimentaria que exigen los mercados internacionales. Los tomates comerciales que se manejan en el mercado son los del tipo bola, saladette, cherry y racimo. En México el 80 por ciento de la producción de tomate se destina al consumo interno y principalmente corresponden a los del tipo saladette. Este tipo de

tomate tiene mayor demanda por su gran consumo nacional y por consiguiente mayor garantía de venta (Castellanos y Muñoz, 2003).

El tomate saladette presenta un hábito de crecimiento de tipo determinado e indeterminado. Los indeterminados, son plantas que presentan inflorescencias laterales, manteniendo el brote terminal siempre vegetativo. Los del tipo determinado se desarrollan igual pero en la cuarta inflorescencia, el ápice terminal se diferencia en un racimo floral. En ambos, el primer crecimiento de la planta privilegia la formación de un área foliar importante, con el objeto de realizar los procesos fotosintéticos, para responder a los requerimientos energéticos en los puntos de crecimiento de la planta. Por lo tanto, es deseable que la planta tenga menos hojas, con una baja tasa de senescencia y alta actividad fotosintética, de tal forma que la energía gastada en el desarrollo y mantenimiento de la planta sea la mínima posible (Pilatti, 1997).

Cuando las plantas están limitadas en fotoasimilados, por baja luminosidad, el crecimiento de las hojas jóvenes es favorecido a expensas del desarrollo vegetativo y la formación del fruto. Por lo tanto, el manejo apropiado de la planta tiene gran importancia en la producción de frutos, ya que al limitar el número de puntos de crecimiento, se favorece el flujo de fotoasimilados hacia el ápice terminal, el tallo, las raíces y el racimo que está diferenciándose, evitando un crecimiento excesivo de brotes. Esta condición contribuye a una mejor penetración de la luz y a un crecimiento

de fotoasimilados para la formación y desarrollo de frutos (Pilatti, 1997). Por lo cual, un buen control vegetativo permite mantener una producción competitiva con una buena calidad de frutos cosechados y vida productiva de la planta.

Una de las características que mas se ha buscado modificar en el desarrollo del tomate, es tener plantas de menor altura y más compactas lo que permite sembrar o plantar con mayor densidad y menor acame (Rojas y Ramírez, 1999).

Para controlar la altura que en forma natural alcanzan las plantas, se han utilizado retardantes de crecimiento en varias especies vegetales obteniendo, generalmente buenos resultados, ya que actúan como inhibidores de la biosíntesis de giberelinas para restringir el crecimiento vegetativo y cambiar el balance de crecimiento a reproductivo, logrando disminuir el tamaño de las plantas sin deformarlas (Sánchez, 2003).

Datos reportados de investigación mencionan que el balance entre el crecimiento vegetativo y la formación del fruto se puede lograr con el uso de retardantes de crecimiento (Ramírez *et al.*, 2003) del tipo de las antigiberelinas, para frenar el efecto no deseado de sombreamiento (Pilatti, 1997).

En tomate se han evaluado distintos productos con acciones en la inhibición de la biosíntesis de giberelinas, tales como, daminozida y cloromequat

(Rojas y Ramírez, 1999). Sin embargo, Owens y Stover (1999), refieren que aunque estos productos inhiben la elongación y en algunas ocasiones promueven la floración en plantas, presentan el inconveniente de una extensa persistencia y efectos toxicológicos al ser humano y por lo tanto tienen restricciones de uso.

Recientemente, se ha reportado a Prohexadiona de Calcio como un biorregulador que presenta perspectivas interesantes. Se clasifica como un retardante del crecimiento en plantas y ha sido registrado en América comercialmente bajo el nombre de "Apogee". Este producto actúa inhibiendo la biosíntesis de giberelinas virtualmente sin toxicidad y persistencia limitada (Fallahi.1999 y Evans *et al.*, 1997). Sin embargo, su mecanismo de acción aún no es definido totalmente desde el punto de vista hormonal endógeno. En base a lo anterior, la presente investigación plantea los siguientes objetivos e hipótesis:

Objetivos

Evaluar el crecimiento y producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) de crecimiento determinado e indeterminado con dos concentraciones de Prohexadiona de Calcio.

Estudiar el efecto de Prohexadiona de Calcio sobre los niveles endógenos de giberelinas y citocininas en tejido vegetal de tomate.

Identificar cualitativamente las giberelinas en el tejido vegetal de tomate.

Hipótesis

El Prohexadiona de Calcio tiene efectos retardantes en el crecimiento de la planta de tomate e influye directamente en la producción y calidad de la misma.

REVISION DE LITERATURA

Importancia del control vegetativo

La estructura básica de las plantas determina los sistemas integrales de manejo. Uno de los principales problemas en el cultivo del tomate, es el control vegetativo. Su manejo apropiado tiene gran importancia en la producción de frutos, ya que al limitar el número de puntos de crecimiento de la planta, se favorece el flujo de fotoasimilados hacia el ápice terminal, el tallo, las raíces y eventualmente hacia el racimo que esta diferenciándose, evitando un crecimiento excesivo de brotes y contribuyendo a una mejor penetración de luz y a un incremento de asimilados para la formación y desarrollo de frutos. Además, hay que considerar que en la etapa inicial, altas densidades no permiten una máxima captación de luz, esto debido a un índice de área foliar alto, lo que origina sombreamiento y eventualmente un problema de manejo (Pilatti, 1997).

Ante la tendencia genética que tiene la planta de tomate a ser más vegetativa, es importante considerar como alternativa de manejo el

metabolismo hormonal de giberelinas y citocininas, por su directa participación en el desarrollo vegetativo y reproducción de esta especie.

Taxonomía, morfología y fisiología del tomate

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) pertenece a la familia Solanácea. Es una planta herbácea perenne y de vida corta, cultivada como de ciclo anual, ramificada, semileñosa, de porte arbustivo, puede desarrollarse de forma rastrera, semierecta o erecta. Existen cultivares de crecimiento determinado y otras de crecimiento indeterminado. (Castellanos y Muñoz, 2003).

Los indeterminados, son plantas que presentan inflorescencias laterales, manteniendo el brote terminal siempre vegetativo. Los del tipo determinado se desarrollan igual pero en la cuarta inflorescencia, el ápice terminal se diferencia en un racimo floral. En ambos, el primer crecimiento de la planta privilegia la formación de un área foliar importante, con el objeto de realizar los procesos fotosintéticos, para responder a los requerimientos energéticos en los puntos de crecimiento de la planta. Este crecimiento se extiende hasta formar entre 7 y 12 hojas verdaderas, por lo que la tendencia es de que tenga menos hojas, con una baja tasa de senescencia y alta actividad fotosintética, de tal forma que la energía gastada en el desarrollo y mantenimiento de la planta sea la mínima posible (Pilatti, 1997).

La planta de tomate se clasifica como una planta C3, desde el punto de vista del proceso fotosintético, debido que presenta fotorespiración. Lo anterior indica que la planta produce fotoasimilados, los cuales son luego utilizados en los puntos de crecimiento a través de la respiración.

La producción fotosintética hasta la antesis floral se distribuye entre: la raíz, el tallo, el ápice terminal, los brotes laterales y las hojas jóvenes. La mayor demanda de las hojas en crecimiento se da entre los 10 a 12 días a partir del inicio de la expansión celular. Aproximadamente 25 días antes de alcanzar su tamaño de altura máximo comienza a exportar asimilados. Los fotoasimilados se translocan por el floema vía flujo masal; el cual es producido por el gradiente de solutos que se encuentran entre los destinos y las fuentes. Es importante la distancia que hay entre una fuente y el destino, pues a mayor distancia una mayor resistencia se ofrece al flujo. El alargamiento de entrenudos hace aumentar la calidad de fotoasimilados utilizados para el crecimiento del tallo en perjuicio de otros destinos como la raíz (Pilatti, 1997).

La planta esta constituida básicamente por un sistema radical que consta de una raíz principal típica de origen seminal y numerosas raíces secundarias y terciarias; el tallo presenta ramificación dicotómica, epigeo erguido, cilíndrico cuando es joven y posteriormente anguloso, de consistencia herbácea a leñosa, con pubescencias de duración anual. La ramificación del tallo principal da lugar a dos hábitos de crecimiento, determinado e indeterminado; el primero; termina sus ramificaciones en

inflorescencia limitándose en consecuencia el crecimiento vertical; en el segundo también se forman racimos en la última hoja, sin embargo, se forma una nueva rama y en consecuencia el crecimiento vegetal no se limita desde un punto de vista de la morfología de la planta. Las hojas son los limbos compuestos por 7 a 9 folíolos con bordes dentados. El haz es de color verde mientras que el envés de color grisáceo; la disposición de las hojas en el tallo es alterna. Es una planta hermafrodita que presenta flores bisexuales en forma de racimo simple, en la base de la planta, o ramificado, en la parte superior de la planta. El fruto es una baya lisa de forma deprimida, alargada y lobular, redondeada, periforme, de tamaño variable; la coloración (epicarpio más mesocarpio) es roja, rosada a amarillenta por la manifestación del licopeno y caroteno (Pérez, Márquez y Peña, 1997; Pilatti, 1997).

Técnicas culturales

Crecimiento y desarrollo vegetativo

La poda en tomate, es una técnica alternativa que contribuye a un aumento en la producción de esta especie hortícola, por lo tanto, con la técnica del desbrote, se pretende limitar el número de puntos de crecimiento de la planta, favoreciendo el flujo de fotoasimilados hacia el ápice terminal, el tallo, las raíces y eventualmente hacia el racimo que está diferenciándose. La eliminación de brotes debe realizarse lo más temprano posible, provocando una

herida pequeña, lo que es deseable desde el punto de vista sanitario, ya que un brote extraído de gran tamaño significa una pérdida de energía que resiente la producción. Hay que considerar que en los estadios iniciales, altas densidades no permiten una máxima captación de luz y en estadios mayores cuando el índice de área foliar llega hasta 5 se puede observar un gran sombreamiento. En determinadas condiciones puede resultar conveniente realizar la poda a dos tallos, sin embargo, una de las desventajas de incrementar el número de tallos por metro cuadrado está en que se disminuye notablemente el tamaño de los frutos y se pierde precocidad (Pilatti, 1997).

Floración y fructificación

Los brotes laterales deben ser eliminados semanalmente para no tener competencia y por lo tanto, desde el momento de antesis la competencia por asimilados se podría reducir entre el brote apical, las hojas jóvenes y la inflorescencia o fructificación.

Una competencia marcada puede presentarse entre frutos del mismo racimo o entre frutos de diferentes racimos que presenten demandas de asimilados al mismo tiempo. Es por ello que se recomienda la extracción del florón o la extracción de las últimas flores del racimo. Esto está muy relacionado con la actividad fotosintética (Pérez, Márquez y Peña, 1997; Pilatti, 1997).

Tamaño y calidad

Diversas técnicas de manejo han sido desarrolladas para mejorar el rendimiento y la calidad comercial del fruto de tomate. Una de ellas consiste en el raleo de hojas o deshojado basal, que debe realizarse solo cuando la mayoría de los frutos del racimo por encima de las hojas ha alcanzado el tamaño comercial.

Otra técnica común es la eliminación del brote terminal o capado, que tiene la misma finalidad que el desbrote, es decir, eliminar puntos de crecimiento vegetativo. Básicamente se logra aumentar la tasa de crecimiento de los frutos formados en los racimos cercanos al ápice, pero sin influencia en los racimos inferiores que normalmente están próximos a cosecha. El capado acelera la senescencia del cultivo y puede también causar falla en el establecimiento del último racimo (Pilatti, 1997).

Biorreguladores de crecimiento

Las hormonas vegetales son compuestos sintetizados por las plantas en concentraciones micro molares o menores, las cuales provocan respuestas fisiológicas específicas ya sea en forma local o bien son translocadas a otras regiones de la planta para modificar su crecimiento y desarrollo (Yáñez, 2002).

En tomate, varias son las posibilidades para reducir la caída de flores, por ejemplo, hoy en día la mayoría de híbridos liberados han sido seleccionados para soportar aplicaciones de auxinas. También suele aplicarse ácido giberélico para cuajar fruto y aumentar tamaño final (Pilatti, 1997).

Retardantes de crecimiento

Los retardantes de crecimiento son sustancias que bloquean temporalmente la división y elongación celular. En la mayoría de los casos no causan malformaciones, incrementan el color verde en el follaje e inducen con frecuencia la formación de yemas florales. Su acción es presumiblemente en la parte subapical cuando retardan el crecimiento vegetativo. Su acción parece concentrarse en el bloqueo de la síntesis de giberelinas o ácido indolacético, o bien su desplazamiento en la planta (Rademacher, 1991).

En el tomate cuando la longitud de entrenudos es excesiva y amenaza con convertirse en un problema para el manejo, existe la posibilidad de utilizar retardantes de crecimiento del tipo de las antigiberelinas, para frenar este efecto no deseado de sombreamiento. La utilización de retardantes de crecimiento favorecen el cuajado de frutos, siendo que éstos retardantes inhiben la síntesis de giberelinas. Es importante considerar que mientras las auxinas y giberelinas se deben aplicar a la flor para activar su metabolismo, los retardantes se deben aplicar a las hojas; en ellas se produce un retraso en el crecimiento de las otras

partes de la planta y de esta forma quedan mas asimilados para ser utilizados por las flores (Pilatti, 1997).

Se han evaluado distintos productos con acciones en la inhibición de la biosíntesis de giberelinas. Dentro de ellos el clomequat [(2-cloroetil) trimetilamonio cloruro], daminozida (ácido succínico 2,2-dimetilhidracida) y paclobutrazol β -[(4-clorofenil)metil]- α -(1, 1-dimetietil)1H-1, 2, 4,-triazole-1-etanol] (Edgerton, 1986; Quinlan y Richardson, 1984; Steffens *et al.*, 1992). Aunque estos productos inhiben la elongación y en algunas ocasiones promueven la floración en plantas, presentan el inconveniente de una extensa persistencia y efectos toxicológicos al ser humano y por lo tanto tienen restricciones de uso (Owens, 1999).

Prohexadiona de Calcio

Prohexadiona de Calcio es un nuevo retardante de crecimiento que promete beneficios para la horticultura moderna (Fallahi, 1999).

Prohexadiona de Calcio (P-Ca); Ca-(3-oxido-4-propionil-5-oxo-3-ciclohexeno-carboxilato) es un inhibidor de la biosíntesis de giberelinas con baja toxicidad y limitada persistencia en el tejido vegetal. Induce la yema terminal más o menos dos semanas después de la aplicación y es totalmente metabolizado 4 a 5 semanas después de la formación de la misma (Evans *et al.*, 1997).

Acción del Prohexadiona de Calcio. P-Ca inhibe la biosíntesis de giberelinas (GAs) consecuentemente reduciendo el crecimiento longitudinal de meristemos. La estructura de prohexadiona es similar a aquellas de ácido 2-oxoglutárico que es un co-substrato de dioxidasas catalizando hidroxilaciones involucradas en reacciones químicas de la biosíntesis de giberelinas.

El primer blanco de prohexadiona de calcio parece ser 3- β -hidroxilación, como consecuencia, esta aplicación reduce los niveles de giberelinas activas y causa la acumulación de su inmediato precursor GA₂₀ inactivo (Evans y Regusci, 1999).

Con relación a la dioxidasa involucrada en el metabolismo de flavonoides puede también ser afectado por P-Ca y compuestos relacionados (Rademacher *et al.*, 1998). Su influencia integral en el sistema hormonal endógena aun se desconoce.

Metabolismo de P-Ca. P-Ca en plantas se degrada en un promedio de vida de pocas semanas. Después de la asimilación y del partimiento de su anillo ocurre naturalmente el ácido propanol 2, 3-tricarboxílico (ácido tricarbárilico), el cual es introducido al metabolismo de la planta (Evans y Regusci, 1999).

En los suelos, el P-Ca se descompone, la mayor parte en dióxido de carbono, con una media de vida de 7 días. En agua, el P-Ca se degrada por

fotólisis a dióxido de carbono y otros productos naturales. En mamíferos, P-Ca es rápidamente absorbido y después excretado (Evans y Regusci, 1999).

Propiedades toxicológicas y ecotoxicológicas. El material no es mutagénico, carcinogénico o teratogénico. Prohexadiona de Ca no tiene efectos negativos en pájaros, pescados, abejas o en los microorganismos del suelo (Evans y Regusci, 1999).

Absorción y translocación. P-Ca es absorbido en manzanos por el follaje, para una máxima absorción requiere un mínimo de 8 horas, y es transportado acropétalmente a los puntos individuales de crecimiento (meristemas). Los movimientos basipétalos son mínimos. P-Ca no persiste en la planta (Evans y Regusci, 1999).

Las propiedades conocidas actualmente de P-Ca, la ubican como un nuevo biorregulador de uso prometedor en la producción hortícola, por lo tanto, es necesario continuar evaluándolo en especies como tomate y en forma simultanea investigar sobre su posible mecanismo de acción.

EFFECTOS DE PROHEXADIONA – CA EN TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Y SU RELACIÓN CON GIBERELINAS Y CITOCININAS

H. Ramírez¹II; R. M. Peralta-Manjarrez¹; A. Benavides-Mendoza¹; A. Sánchez-López¹; V. Robledo-Torres¹; J. Hernández-Davila¹.

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

RESUMEN

La investigación se realizó con el propósito de conocer los efectos de prohexadiona–Ca sobre el crecimiento vegetativo-reproductivo y su relación con giberelinas y citocininas endógenas en híbridos experimentales de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) tipo saladette con hábito de crecimiento determinado e indeterminado.

Se aplicó el retardante de crecimiento a plantas de tomate en invernadero cuando estas alcanzaron 12 hojas verdaderas a concentraciones de 0 (testigo), 175 y 250 mg·litro⁻¹. Los resultados mostraron que las concentraciones utilizadas del bioregulador provocaron una notable reducción en la altura de la planta durante seis días posteriores a la aplicación en ambos híbridos estudiados. Este efecto fue revertido a los 19 días después del tratamiento. El número de entrenudos, número de hojas y diámetro de tallo fueron incrementados por los tratamientos. El número de racimos y frutos, peso del fruto, sólidos solubles, firmeza del fruto y producción por planta también se incrementaron con prohexadiona de calcio, mientras que el radio del fruto no fue afectado. Las dosis de P-Ca utilizadas, redujeron los niveles de giberelinas y aumentaron las citocininas en meristemas apicales. En estos tejidos se identificaron las giberelinas A₁₂ y A₂₀ así como zeatina. En ápices testigo se encontraron giberelinas A₁, A₄ y A₇, además de zeatina.

Palabras clave adicionales: P-Ca, tomate, hormonas endógenas.

EFFECTS OF PROHEXADIONE – CA ON TOMATO (*Lycopersicon esculentum* Mill.) RELATED TO GIBBERELLINS AND CYTOKININS

SUMMARY

The present research was conducted with the purpose to learn on the effects of prohexadione – Ca on the vegetative and reproductive growth related to endogenous gibberellins and cytokinins in two experimental saladette tomato hybrids (*Lycopersicon esculentum* Mill.) with determinate and indeterminate growth habit.

The P-Ca was sprayed when plants reached 12 true leaves at a concentrations of 0 (control), 175 and 250 mg·liter⁻¹. The results showed that both P-Ca concentrations have reduced plant height during six days after treatment in both hybrids. This effect was reverted 19 days after P-Ca treatment. Internodal number, leaf number and shoot diameter were increased with P-Ca treatments in both tomato materials. Fruit and raquis number, fruit weight, fruit firmness, total soluble solids and total plant yield were also increased with P-Ca concentrations; whereas fruit radio was not affected. The concentrations of P-Ca used, have reduced in apical meristems the levels of gibberellins and have increased the cytokinins content. In these tissues, gibberellins A₁₂, A₂₀ and zeatin were identified. In control samples gibberellins A₁, A₄, A₇ and zeatin were found.

Key words: P-Ca, tomato, endogenous hormones.

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) es una hortaliza con un alto valor comercial y una enorme importancia mundial, debido a la gran cantidad de divisas que genera a los países que lo producen. México ocupa el segundo lugar a nivel mundial como país exportador y el décimo lugar como país productor de tomate con volúmenes anuales promedios de 569 mil toneladas en la última década. La superficie cultivada en México es alrededor de 100 000 hectáreas. El 70% de esta área, concentra a los estados de Sinaloa, Baja California Norte, San Luis Potosí y Michoacán. La superficie de producción de tomate bajo invernadero en 2001 registró alrededor de 700 hectáreas. En México el 80% de la producción de tomate se destina al consumo interno, principalmente el de tipo saladette (Castellanos y Muñoz, 2003).

El tomate saladette presenta un hábito de crecimiento determinado e indeterminado. En ambos, el primer crecimiento de la planta privilegia la formación de un área foliar importante, destinado en principio al proceso fotosintético, para responder a los requerimientos energéticos en los puntos de crecimiento de la planta. Por lo tanto, el manejo apropiado de la planta tiene gran importancia en la producción de frutos, ya que al limitar el número de puntos de crecimiento, se favorece el flujo de fotoasimilados hacia el ápice terminal, el tallo, las raíces y el racimo que está diferenciándose, evitando un crecimiento excesivo de brotes, permitiendo obtener una producción competitiva con una buena calidad de frutos cosechados y vida productiva de la planta (Pilatti, 1997).

Una de las características que más se ha buscado modificar en el desarrollo del tomate, es tener plantas de menor altura y más compactas lo que permite sembrar una mayor densidad por hectárea (Rojas-Garcidueñas y Ramírez, 1999). Para lograr controlar la altura que en forma natural alcanzan las plantas, se han utilizado retardantes de crecimiento en varias especies vegetales obteniendo, generalmente buenos resultados, ya que actúan como inhibidores

de la biosíntesis de giberelinas resultando en un crecimiento vegetativo menor y una modificación en la translocación de asimilados. Este cambio, estimula el incremento en el número de formación de flores (Sánchez, 2003). En tomate se han evaluado distintos productos con acción en la inhibición de la biosíntesis de giberelinas, como, daminozida y clormequat (Rojas-Garcidueñas y Ramírez, 1999). Sin embargo, Owens y Stover (1999), refieren que aunque estos productos inhiben la elongación y en algunas ocasiones promueven la floración en plantas, presentan el inconveniente de una extensa persistencia en el tejido vegetal y efectos toxicológicos al ser humano y por lo tanto tienen restricciones de uso. Recientemente, se ha reportado a prohexadiona de calcio (P-Ca) como un bioregulador que presenta perspectivas interesantes. Este producto aparentemente actúa inhibiendo la biosíntesis de giberelinas virtualmente sin toxicidad y persistencia limitada (Fallahi, 1999 y Evans *et al.*, 1997). Sin embargo, su mecanismo de acción aún no es definido totalmente desde el punto de vista hormonal endógeno. En base a lo anterior, la presente investigación se realizó con el objetivo de evaluar los efectos de P-Ca en el crecimiento vegetativo y reproductivo de híbridos experimentales de tomate saladette de hábito determinado e indeterminado y relacionarlos con giberelinas y citocininas endógenas en meristemas apicales.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. En el verano de 2003, plántulas de dos híbridos experimentales de tomate saladette con hábito de crecimiento de tipo determinado e indeterminado, proporcionadas por el M.C. Alfredo Sánchez López, Maestro Investigador de ésta institución, fueron transplantadas a un invernadero de alta tecnología, en bolsas de plástico con sustrato de peat moss, perlita y vermiculita (6:2:2). El cultivo fué manejado de

acuerdo al paquete tecnológico utilizado en el Departamento de Horticultura (Benavides, 2002).

Las plantas, una vez establecidas en el invernadero fueron tratadas con los siguientes tratamientos: 0 (testigo), 175 y 250 mg·litro⁻¹ de prohexadiona de calcio. En cada aplicación de este material se agregó el surfactante líquido polioxietilenopolipro-poxipropanol (Bionex) a razón de 1 mg·litro⁻¹ de agua. Las condiciones climáticas durante esta investigación dentro del invernadero se mantuvieron a temperatura de 27 °C y 65% de humedad relativa. El proceso experimental se dividió en dos fases:

Fase I. Influencia en el crecimiento vegetativo, productivo y calidad de fruto.

Después del trasplante, cuando las plantas de tomate en ambos híbridos alcanzaron 12 hojas verdaderas, se aplicaron los tratamientos mediante aspersión. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con los tres tratamientos referidos, seleccionando nueve plantas de cada grupo de híbridos por tratamiento para su evaluación. Los efectos de los tratamientos se evaluaron cada tercer día durante 12 días y a los 19 días después de la aplicación. Las variables evaluadas fueron: crecimiento vegetativo del tallo principal, número de entrenudos, número de hojas por planta, diámetro del tallo, número de racimos por planta, número de frutos por planta, peso del fruto, radio del fruto, firmeza del fruto, sólidos solubles totales del fruto y producción total por planta. En cada parámetro se analizaron los datos con la prueba de Tukey al 1 y 5 % de nivel de significancia. La evaluación de los parámetros vegetativos referidos se realizó con una cinta métrica escala 0-2 m y un vernier Modelo Effegi escala 0-12 cm. El radio de fruto (longitud/diámetro) se midió con el mismo vernier; el peso del fruto se efectuó empleando una balanza digital Satorious Electronic Toploader (1006 MP9); mientras que la producción total por planta fue obtenida utilizando una bascula Roca. La firmeza del fruto se

determinó con un penetrómetro "Fruit pressure tester" Modelo FT327. Los sólidos solubles totales (SST, °Brix) se midieron con un refractómetro óptico manual Modelo ACT-1, escala 0-32% °Brix. Los caracteres de frutos evaluados se efectuaron en 32 frutos al azar por tratamiento.

Fase II. Hormonas endógenas.

Análisis hormonal.

Con el propósito de establecer la influencia hormonal endógena del prohexadiona-Ca sobre el crecimiento vegetativo, de cada grupo de híbridos de tomate de un lote similar y con el mismo diseño experimental referido en la fase I con los tratamientos aplicados, se tomaron muestras de 30 ápices en cada ocasión de plantas testigos y de aquellos que recibieron 175 y 250 mg·litro⁻¹ de P-Ca. Este muestreo se realizó a los 0, 1, 2, 3, 4, 5, 12 y 19 días después de la aplicación del retardante. Cada muestra fue transferida inmediatamente a nitrógeno líquido tan pronto se desprendió de la planta. Las muestras fueron llevadas al laboratorio del Departamento de Horticultura donde fueron liofilizadas y pulverizadas previamente a su análisis hormonal.

Giberelinas. En cada ocasión se utilizó una muestra consistente en un gramo 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 horas 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 cuatro horas 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 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 cuatro horas, a temperatura de 20 °C. Al terminar este tiempo, las giberelinas en los Rf de cada muestra, fueron separadas y acondicionadas para su medición analítica (Stephan, *et al.*, 1998). Cada muestra purificada fué metilada con diazometano y el contenido de giberelinas fué 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 $A_{4/7}$ fué 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 concentraciones de 1, 10 y 100 ng de $AG_{4/7}$ diluidos en acetona-metanol (50:50) (v:v) (Stephan *et al.*, 1998). Las muestras con mayor contenido de giberelinas fueron preparadas para identificar el tipo de giberelinas presentes, utilizando la técnica de cromatografía de gases y espectrometría de masas. 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. Alícuotas fueron examinadas con un separador de membrana de silicón Pye 104 CLC acoplado a un espectrómetro de masas AEI MS30. En éste 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 fué de 25 $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$ y la temperatura de la columna fué programada entre 180 a 280 °C a 2 °C $\cdot\text{min}^{-1}$. La espectrometría de masas fue determinada a 24eV en una fuente de temperatura de 190 °C y una velocidad de búsqueda de 6.5 s por década de masa. El espectro fue registrado por una computadora Dec Lin 8.

La identificación fue conducida por comparación del Índice de Retención Kovats (KRI) y el espectro de espectrometría de masas de sus metil ester trimetilsilil éter con sus derivados de las muestras originales (Ramírez *et al.*, 2001).

Citocininas. La extracción de citocininas se realizó con el procedimiento descrito para giberelinas. La purificación de cada muestra se obtuvo al pasarla a través de una columna HP3 de 13 cm de largo por 2.5 cm de diámetro interno y empacada con la resina de intercambio cationico Dowex 50 WX8. Conservando la columna con la muestra a una temperatura de 6 °C, ésta fue lavada con etanol (98%) – agua destilada (50:50) (v:v) y las citocininas recuperadas con 250 ml de amonía 3N. Ésta se rotoevaporó de la misma manera mencionada anteriormente. Al extracto obtenido se le agregó 1ml de acetona (98%) – metanol (98%) a la proporción 50:50 (v:v) y se transfirió a tubos eppendorf para evaporar el solvente con N₂ y en baño maría a 50 °C hasta sequedad. Cada muestra se derivó agregandole 1ml de tri-syl(bis(trimetilsilil) triflouracetamina) para luego inyectarse en la cromatografía líquida de alta precisión utilizada para giberelinas. Como referencia de citocininas, se utilizó zeatina a concentraciones de 1, 10 y 100 ng diluidos en acetona-metanol. Las muestras con mayor concentración de citocininas fueron también analizadas con cromatografía de gases y espectrometría de masas en la forma referida en giberelinas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento vegetativo.

La figura 1 muestra los efectos de P-Ca sobre el crecimiento vegetativo en plantas de híbridos de tomate saladette de hábito de crecimiento indeterminado.

El retardante a concentraciones de 175 y 250 mg·litro⁻¹ originó una reducción significativa en la altura de la planta entre dos y seis días posteriores al tratamiento ($P \leq 0.05$). Este efecto en las plantas fue revertido 19 días después de haber sido asperjadas con el bioregulador. El híbrido de hábito de crecimiento determinado, mostró un patrón similar después de la aplicación de prohexadiona de calcio a las mismas dosis (Figura 2). El efecto del retardante también estuvo asociado con un notable incremento en el diámetro del tallo, número de entrenudos y número total de hojas por planta tanto en el híbrido de crecimiento determinado como en el de crecimiento indeterminado (Cuadro 1). En ambos casos las diferencias en esos parámetros al compararse con los testigos, mostraron significancia ($P \leq 0.01$).

Los efectos observados de P-Ca en ambos híbridos de tomate sobre la reducción en la altura de la planta en los primeros seis días posteriores al tratamiento (Figuras 1 y 2) y el aumento en el diámetro del tallo, número de entrenudos y número de hojas por planta (Cuadro 1) no ha sido previamente reportado en tomate. Otros retardantes de crecimiento como cycocel (Rojas-Garcidueñas y Ramírez, 1996) y alar (López-Valencia *et al.*, 2002) han mostrado su efecto en la reducción de altura de plantas de tomate cuando estas fueron asperjadas a concentraciones de 1000 y 1500 mg·litro⁻¹ al alcanzar una edad de 25 días de edad. En otras especies como manzano (Basak y Rademacher, 2000) y peral (Costa *et al.*, 2001), el P-Ca ha mostrado ser un potente reductor del crecimiento vegetativo cuando es aplicado en un rango de 180 a 270 mg·litro⁻¹ al inicio del brote apical. El aumento en el diámetro del tallo y número de entrenudos ha sido reportado en manzano Golden Delicioso cuando P-Ca es aplicado a 250 mg·litro⁻¹ al nuevo brote una vez que alcanzó 5 cm de crecimiento nuevo en la primavera (Ramírez *et al.*, 2003). La influencia que tiene el P-Ca en la reducción de crecimiento vegetativo en plantas, ha sido explicada por su acción como un bloqueador de síntesis de giberelinas biológicamente activas (Evans *et al.*, 1997; Rademacher, 2001). En la presente investigación, se observó una reducción en los niveles de giberelinas durante los primeros seis días posteriores a los tratamientos con P-Ca en las plantas de

ambos híbridos (Figuras 3 y 4). Esta relación apoya lo anterior. Además, los resultados de cromatografía de gases y espectrometría de masas (Figura 7) indican que las giberelinas A_1 , A_4 y A_7 caracterizadas por ser biológicamente activas (Evans *et al.*, 1997) no aparecen durante los primeros seis días después del tratamiento con el retardante (Figuras 3 y 4). Lo anterior presumiblemente debido al bloqueo de su síntesis identificándose, por lo tanto, en ese momento solamente las giberelinas A_{12} y A_{20} (Figura 7) caracterizadas como biológicamente inactivas (Ramírez *et al.*, 2001; Rademacher y Kober, 2003). Estas giberelinas inactivas se mantienen como tales con la presencia de P-Ca en su metabolismo al inhibirse la producción de dioxigenasas responsables de catalizar el proceso que desencadena la producción de las giberelinas activas A_1 , A_4 y A_7 (Rademacher, 2001). La recuperación en el crecimiento vegetativo que se observó en ambos híbridos de tomate a partir de los 19 días posteriores al tratamiento con ambas dosis del retardante de crecimiento (Figuras 1 y 2), presumiblemente resulta del retorno en la actividad biológica de las giberelinas A_1 , A_4 y A_7 (Figuras 3, 4 y 7). Lo anterior tiene el sustento de que P-Ca es un retardante de crecimiento con una molécula muy inestable misma que al ingresar al tejido vegetal, pierde su naturaleza química entre 2 a 4 días (Evans *et al.*, 1997). Por lo tanto, este bioregulador pudiera estar bloqueando por un periodo muy corto la síntesis de AG_1 , AG_4 y AG_7 .

El aumento en el número de entrenudos, diámetro del tallo y número de hojas en las plantas que recibieron el P-Ca (Cuadro 1), pudiera reflejar el resultado en el aumento de citocininas endógenas por el retardante en el ápice de las plantas (Figuras 5 y 6), en particular la zeatina (Figura 8). Se conoce que las citocininas contribuyen directamente en la diferenciación de tejidos vegetales (Rojas-Garcidueñas y Ramírez, 1996; Srivastava, 2002). La presencia nuevamente de giberelinas a partir del día 19 en las plantas tratadas con P-Ca (Figuras 3 y 4) recuperan el crecimiento vegetativo en las mismas (Figuras 1 y 2). Esta respuesta también contribuyó al incremento en el número mayor de hojas por planta al compararse con el testigo (Bazzi *et al.*, 2003).

Producción y calidad de fruto.

En el Cuadro 2 se presentan los efectos de prohexadiona de calcio sobre varios parámetros productivos de los híbridos de tomate. Se observó en el híbrido de hábito de crecimiento indeterminado que ninguna de las concentraciones utilizadas con el retardante influyeron en el número de racimos por planta. Lo contrario sucedió en el híbrido de hábito de crecimiento determinado en donde la concentración de $250 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ de P-Ca produjo un incremento en éste parámetro. El número de frutos por planta fue incrementado significativamente en ambos híbridos cuando se aplicaron 175 y $250 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ de P-Ca ($P \leq 0.05$). En cambio la influencia del retardante de crecimiento sobre el peso del fruto solamente originó un incremento en el mismo cuando se aplicaron las dosis referidas en las plantas de tomate con hábito de crecimiento indeterminado. La producción por planta en los tratamientos con P-Ca en ambos materiales experimentales mostraron incrementos significativos. En particular fue interesante observar que los tratamientos con el retardante de crecimiento en el híbrido de crecimiento determinado virtualmente duplicaron su producción al compararse con el testigo. El radio del fruto no mostró cambios significativos con los tratamientos de prohexadiona de calcio. Sin embargo, se pudo observar que la firmeza fue significativamente mayor en el híbrido de crecimiento determinado ($P \leq 0.05$), mientras que en el de crecimiento indeterminado solamente mostró tendencia en este parámetro. El contenido de sólidos solubles totales también fue mayor en los frutos procedentes de plantas de hábito indeterminado que recibieron el tratamiento de P-Ca a cualquier concentración. Este parámetro también mostró tendencias a un mayor contenido en los tratamientos con el retardante de crecimiento en los frutos del híbrido con crecimiento determinado (Cuadro 3).

La influencia de prohexadiona de calcio en el aumento de frutos por planta, peso del mismo y producción por planta ha sido característica en otras especies frutales como manzana (Greene, 1996; Unrath, 1999; Basak y Rademacher, 2000) y pera (Costa, 2001; Costa, 2002). Estos efectos han sido ligados a un

incremento en el número de flores en el cuajado de frutos (Rademacher *et al.*, 2003). Es probable que en este estudio al reducirse el crecimiento vegetativo de la planta (Figuras 1 y 2), se origine un incremento en la producción de citocininas en ese tejido (Figura 5 y 6). Este incremento pudiera estimular la formación de un mayor número de flores (Ramírez, 2000). El incremento en el peso del fruto observado en el híbrido de crecimiento indeterminado estaría enlazado a una mayor disponibilidad de fotosintatos para su desarrollo como resultado de un mayor número de hojas por planta (Cuadro 1 y 2). Esta relación también ha sido observada en tomate cuando las plantas recibieron una fertilización nitrogenada en combinación con los retardantes de crecimiento ácido N-dimetil amino succinámico y cloruro de 2-cloroetil trimetilamonio (Rojas-Garcidueñas y Ramírez, 1999). El aumento en la firmeza del fruto con los tratamientos de P-Ca en el híbrido de crecimiento determinado (Cuadro 3) es un efecto que caracteriza a este retardante cuando es aplicado a especies frutales (Yoder *et al.*, 1999). Esta característica es de suma importancia para aumentar la vida en anaquel de esta hortaliza. El incremento en sólidos solubles totales observados en el híbrido con crecimiento indeterminado en ambas concentraciones de P-Ca y la tendencia mostrada también en los frutos del híbrido con crecimiento determinado pudieran explicarse presumiblemente en términos de un incremento en la capacidad fotosintética total de la planta y por lo tanto, mayor disponibilidad de azúcares para el fruto como resultado de un mayor número de hojas en la misma (Srivastava, 2002).

Hormonas endógenas.

Los tratamientos con prohexadiona de calcio originaron una reducción significativa en los niveles endógenos de giberelinas en el ápice analizado de los híbridos con crecimiento indeterminado (Figura 3) y crecimiento determinado (Figura 4). La reducción en el contenido de giberelinas en ambos materiales experimentales se mantuvo en niveles bajos durante los cinco días posteriores al tratamiento con el retardante de crecimiento ($P \leq 0.05$). La recuperación de

éstas hormonas en el tejido vegetativo ocurrió a partir del sexto día después del tratamiento adquiriendo su máximo nivel 12 días después del tratamiento. A partir de esa fecha y hasta el día 19 los niveles de giberelinas de ambos híbridos con las dosis de 175 y 250 mg·litro⁻¹ fueron muy similares a los ápices de las plantas testigo (Figuras 1 y 2).

El contenido de citocininas endógenas en los ápices de ambos híbridos que recibieron el tratamiento de P-Ca mostraron un patrón opuesto al observado en las giberelinas durante los primeros 12 días posteriores al tratamiento. En ambos híbridos se puede observar que el retardante de crecimiento indujo un incremento significativo en el contenido de citocininas ($P \leq 0.05$). El comportamiento de éstas hormonas naturales fue similar en ambos híbridos de tomate, presentando una drástica reducción en su nivel a partir del día 12 y un mínimo en el día 19 posterior al tratamiento con P-Ca (Figuras 5 y 6). Los resultados de los análisis de cromatografía de gases y espectrometría de masas permitieron identificar en las muestras de ápices tratados con el retardante de crecimiento las giberelinas A_{12} y A_{20} y zeatina. Los ápices testigo mostraron la presencia de las giberelinas A_1 , A_4 y A_7 además de zeatina (Figuras 7 y 8).

Los cambios en el estatus hormonal de plantas vegetales causadas por la aplicación de retardantes de crecimiento está claramente ilustrada en varias especies hortícolas (Rojas-Garcidueñas y Ramírez, 1999). Prohexadiona de calcio es probablemente el retardante de crecimiento de más reciente creación (Rademacher *et al.*, 1997). Se ha reportado también que prohexadiona de calcio tiende a aumentar los niveles de citocininas en tejidos como meristemos apicales y semillas inmaduras (Evans *et al.*, 1999). Este efecto ha sido relacionado con el estímulo en la formación de flores y hojas en diversas especies frutales (Evans *et al.*, 1999; Owens y Stover, 1999). Los resultados observados en la presente investigación, en particular la reducción de giberelinas (Figuras 3, 4 y 7) y aumento de citocininas (Figuras 5, 6 y 8) son consistentes con las experiencias señaladas.

CONCLUSIONES

De los resultados de ésta investigación, y en las condiciones en que se realizó se establecen las siguientes conclusiones. La aplicación de prohexadiona de calcio en las concentraciones de 175 y 250 mg·litro⁻¹ aplicados a plantas de híbridos de tomate de crecimiento determinado e indeterminado cuando alcanzaron 12 hojas verdaderas, reduce el crecimiento vegetativo, aumenta el número de entrenudos, número de hojas y diámetro del tallo. Aumenta el número de frutos por planta, peso del fruto, firmeza del fruto y producción por planta. Las dosis de P-Ca utilizadas, reducen los niveles de giberelinas y aumentan las citocininas en meristemos apicales. Este retardante provoca el bloqueo de la síntesis de giberelinas A₁, A₄ y A₇.

LITERATURA CITADA

- BASAK, A.; RADEMACHER, W. 2000. Growth regulation of pome and stone fruits trees by use of Prohexadione – Ca. *Acta Horticulturae* 514: 41-50.
- BAZZI, C.; MESSINA, C.; TORTORETO, L.; BINI, F.; CECCA, G. S.; STEFANI, E. 2003. Investigations on the possible use of abiotic and biotic elicitors in defence-related responses in plants. *European Journal of Horticultural Science* 68(3):115-122.
- BENAVIDES, M. A. 2002. *Ecofisiología y Bioquímica del Estrés de las Plantas*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. pp. 16-17.
- CASTELLANOS, J. Z.; MUÑOZ R. 2003. La Industria de la Horticultura Protegida en México. En: Muñoz-Ramos, J. J.; Castellanos, J. Z. (eds.).

Manual de Producción Hortícola en Invernadero. INCAPA. México. pp. 1-17.

- COSTA, G.; SABATINI, E.; SPINELLI, F.; ANDREOTTI, C.; BOMBEN, C.; VIZZOTO, G. 2001. Two years of application of P-Ca on apple: Effect on vegetative and cropping performance, fruit quality, return bloom and residual effect. IX International Symposium on Plant Bioregulators in Fruit Production. Seoul Korea. Abst. 0-4.
- COSTA, G.; SABATINI, E.; SPINELLI, F.; ANDREOTTI, C.; SPADA, G.; MAZINI, F. 2001. Prohexadione-Ca control vegetative growth and cropping performance in pear. IX International Symposium on Plant Bioregulators in Fruit Production. Seoul Korea. Abst. p. 25.
- EVANS, J. R.; ISHIDA, C. A.; REGUSCI, C. L.; RADEMACHER, W. 1997. Mode of action, metabolism and uptake of BAS-125W, prohexadione-calcium. HortScience 324: 557-558.
- EVANS, L.; EVANS, R. R.; REGUSCI, C. L.; RADEMACHER, W. 1999. Mode of action, metabolism and uptake of BAS-125W Prohexadione-calcium. HortScience 34(7): 1200-1201.
- FALLAHI, E. 1999. Metabolism, action and use of BAS-125W in apples. HortScience 34(7): 1192-1193.
- GREENE, D. W. 1996. The use of BAS 125W to control growth of apple trees. Proceedings PGRSA 24(1-2):59.
- LÓPEZ-VALENCIA, M.; SÁNCHEZ-DEL CASTILLO. F.; CONTRERAS-MAGAÑA, 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.

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

PILATTI, R. A. 1997. Cultivo Bajo Invernaderos. Ed. Hemisferio Sur, S.A. Universidad Nacional del Litoral. Buenos Aires, Argentina. pp. 7-33.

RADEMACHER, W. 2001. Chemical regulation of shoot growth in fruit trees. IX International Symposium on Plant Bioregulators in Fruit Production. Seoul Korea. Abst.1.

RADEMACHER, W.; KOBER. 2003. Efficient use of Prohexadione-Ca in pome fruits. European Journal of Horticultural Science 68(3):107-107.

RAMÍREZ, H. 2000. Apple growing in northeastern Mexico. Acta Horticulturae 565:139-140.

RAMÍREZ, H.; HOAD, G. V.; BENAVIDES, A.; RANGEL, E. 2001. Gibberellins in apple seeds and the transport of [³H]-GA₄. Revista de la Sociedad Química de México. 45(2):47-50.

RAMÍREZ, H.; GÓMEZ-CASTAÑEDA, J. C.; BENAVIDES-MENDOZA, A.; ROBLEDO-TORRES, V.; ENCINA-RODRIGUEZ, L. I.; COELLO-COUTIÑO, C. A. 2003. Influencia de Prohexadiona-Ca sobre crecimiento vegetativo-producción y calidad de fruto en manzano (*Malus domestica* Borkh). Revista Chapingo Serie Horticultura 9(2):En prensa.

- ROJAS-GARCIDUEÑAS, M.; RAMÍREZ R. 1999. Control Hormonal del Desarrollo de las Plantas. Editorial Limusa. México, D.F. 239 p.
- SÁNCHEZ B., F. 2003. Obtención de plantas ornamentales compactas, mediante la aplicación de Paclobutrazol y podas de formación. En: Almaguer V.G.; Colinas L.; Flores M.; Mora A.; Vidal L.; González R.; Ayala S.; Mejia M. (eds.). X Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas, IX Congreso Nacional y II Internacional de Horticultura Ornamental. Chapingo; Méx., México. Vol. 10. p.169.
- SRIVASTAVA, L. M. 2002. Plant Growth and Development. Academic Press. Elsevier Science. USA.
- STEPHAN, M.; BANGERTH, F.; SCHNEIDER, G. 1998. Transport and metabolism of the gibberellins A₁, A₃ and A₄ after application to developing apple fruits of *Malus domestica* cv. Jonagold. VIII Simposium Plant Bioregulators. Ed. J. L. Guardiola. Acta Horticulturae 453:113-119.
- UNRATH, C. R. 1999. Prohexadione–Ca: A promising chemical for controlling vegetative growth of apples. HortScience 34: 1191-1200.
- YODER, K. S.; MILLER, S. S.; BYERS, R. E. 1999. Suppression of fireblight in apple shoots by prohexadione – calcicum following experimental and natural inoculation. HortScience 34:1202-1204.

Cuadro 1. Efectos de prohexadiona de calcio sobre parámetros vegetativos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) saladette en Saltillo, Coahuila, México. 2003. Cada valor representa la media de nueve plantas.

Tratamiento	Diámetro del tallo (mm)		Número de entrenudos/planta		Número de hojas/planta	
	Indet.	Det.	Indet.	Det.	Indet.	Det.
Testigo	10.28 b ^z	10.34 b	26 b	24 b	344 b	290 b
P-Ca 175 (mg·litro ⁻¹)	11.17 ab	12.14 a	30 a	27 ab	417 ab	317 ab
P-Ca 250 (mg·litro ⁻¹)	12.13 a	12.25 a	30 a	33 a	464 a	349 a

^z Valores con la misma letra son iguales estadísticamente por columna de acuerdo a la prueba de Tukey con $P \leq 0.01$.

Cuadro 2. Efectos de prohexadiona de calcio sobre parámetros productivos del fruto de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) saladette en Saltillo, Coahuila, México. 2003.

Tratamiento	Número de racimos/planta ^x		Número de frutos/planta ^x		Peso/fruto ^y (g)		Producción/planta ^x (g)	
	Indet.	Det.	Indet.	Det.	Indet.	Det.	Indet.	Det.
Testigo	6 a ^z	5 b	18 b	16 c	42.5 c	62.9 a	1118.38 b	666.88 c
P-Ca 175 (mg·litro ⁻¹)	6 a	5 b	25 a	19 b	62.5 a	63.4 a	1579.33 a	1201.64 a
P-Ca 250 (mg·litro ⁻¹)	6 a	6 a	23 a	23 a	51.0 b	61.3 a	1423.54 a	1167.59 b

^z Valores con la misma letra son iguales estadísticamente por columna de acuerdo a la prueba de Tukey con $P \leq 0.05$.

^x Cada valor representa la media de nueve plantas.

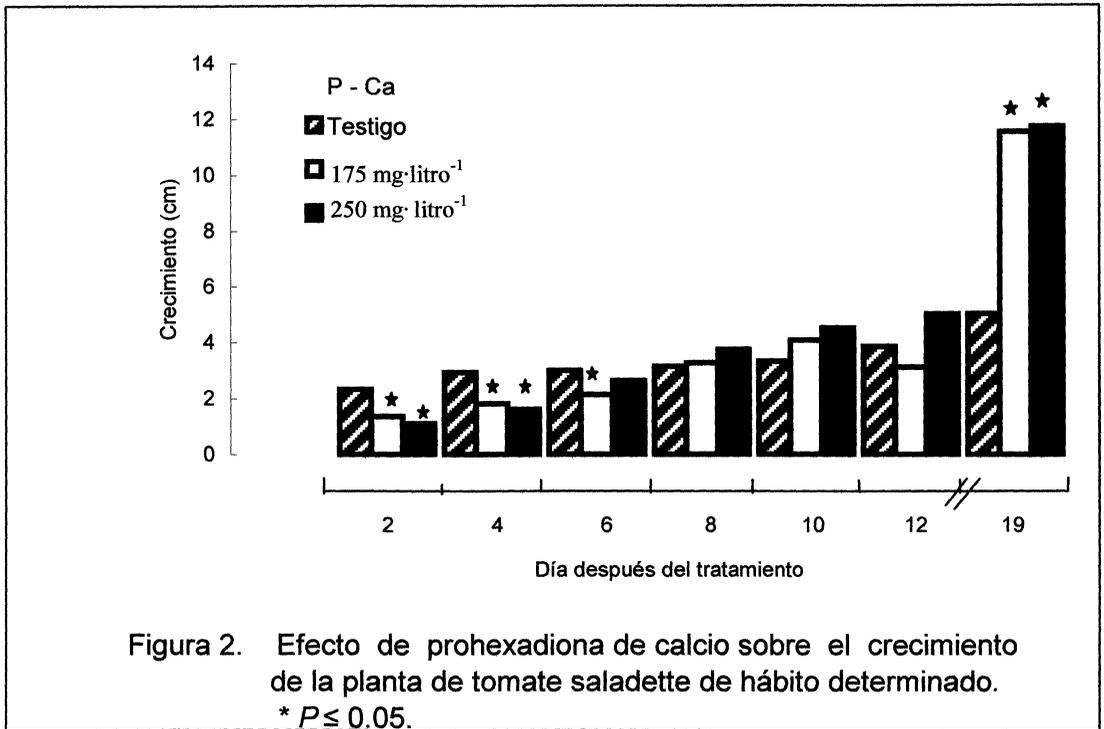
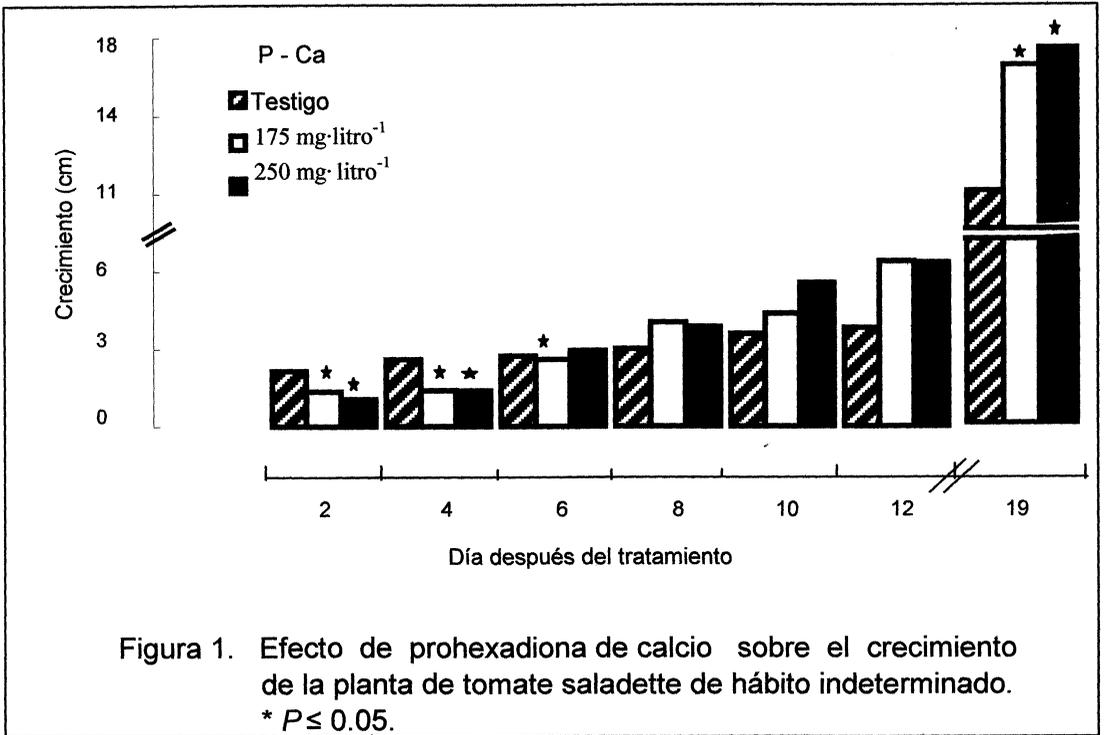
^y Cada valor representa la media de 32 frutos.

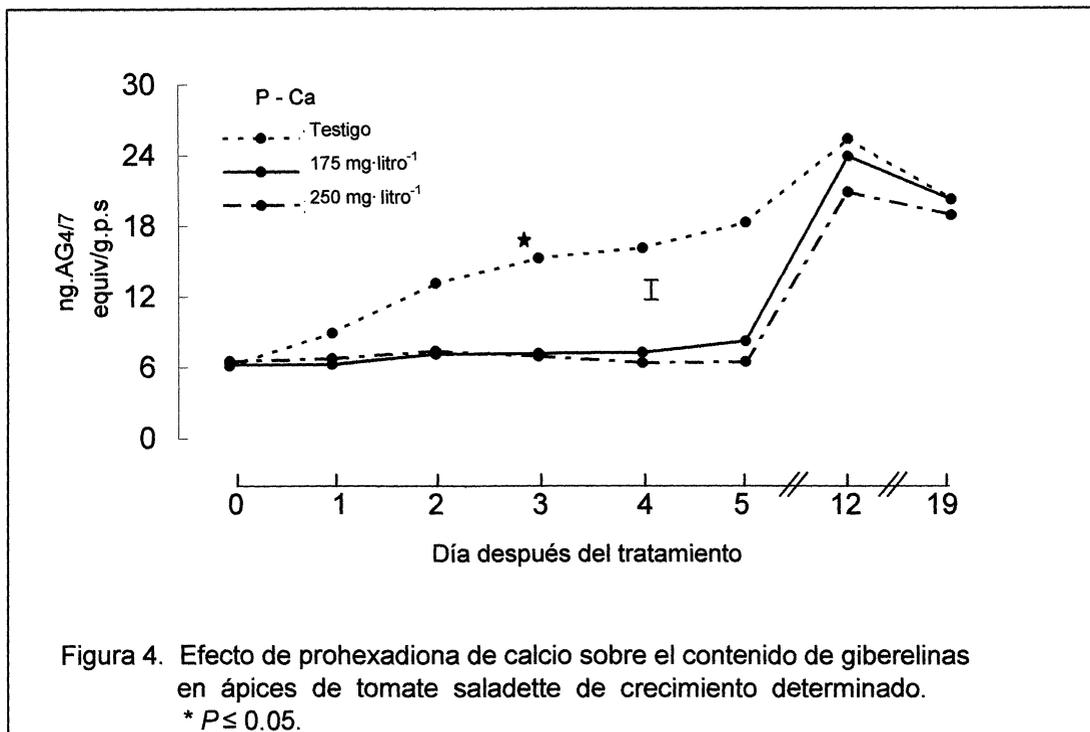
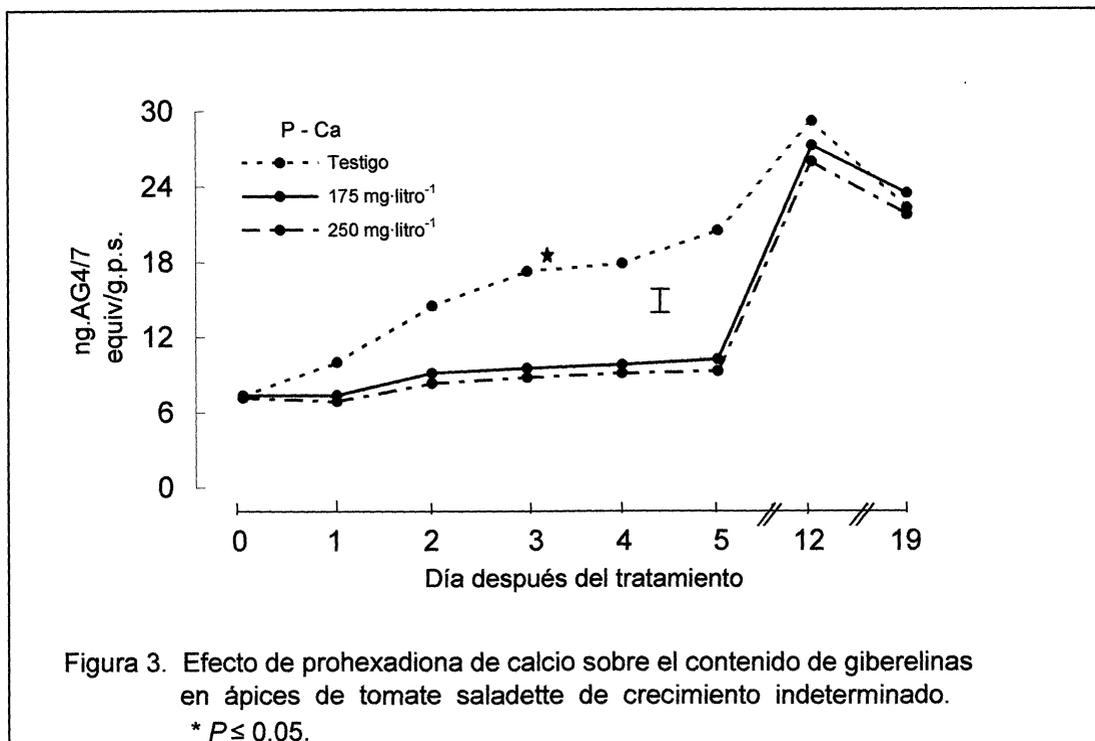
Cuadro 3. Efectos de prohexadiona de calcio sobre parámetros de calidad del fruto de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) sadatte en Saltillo, Coahuila, México. 2003.

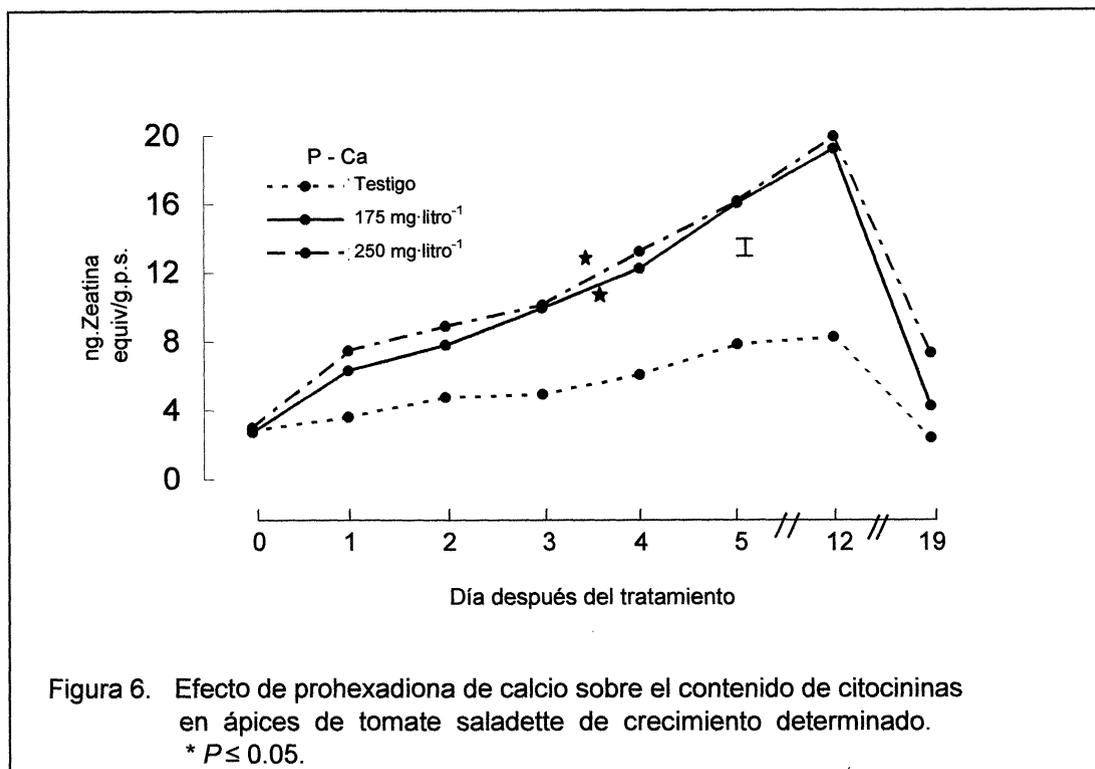
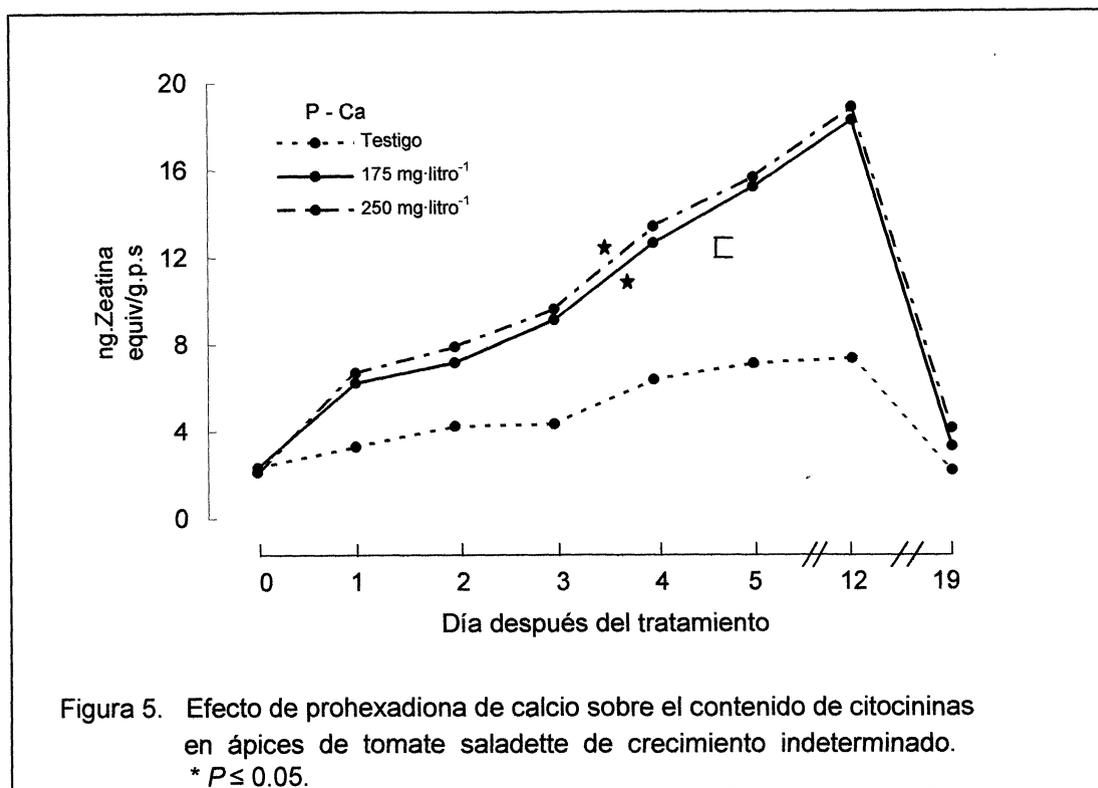
Tratamiento	Radio/fruto ^y (long/diám)		Firmeza/fruto ^y (kg·cm ²)		Sólidos solubles totales/fruto ^y (°Brix)	
	Indet.	Det.	Indet.	Det.	Indet.	Det.
Testigo	1.24 a ^z	1.16 a	2.55 a	1.96 b	5.79 b	5.51 a
P-Ca 175 (mg·litro ⁻¹)	1.24 a	1.22 a	2.65 a	2.63 a	6.5 a	5.6 a
P-Ca 250 (mg·litro ⁻¹)	1.27 a	1.28 a	2.95 a	2.91 a	6.3 a	5.7 a

^z Valores con la misma letra son iguales estadísticamente por columna de acuerdo a la prueba de Tukey con $P \leq 0.05$.

^y Cada valor representa la media de 32 frutos.







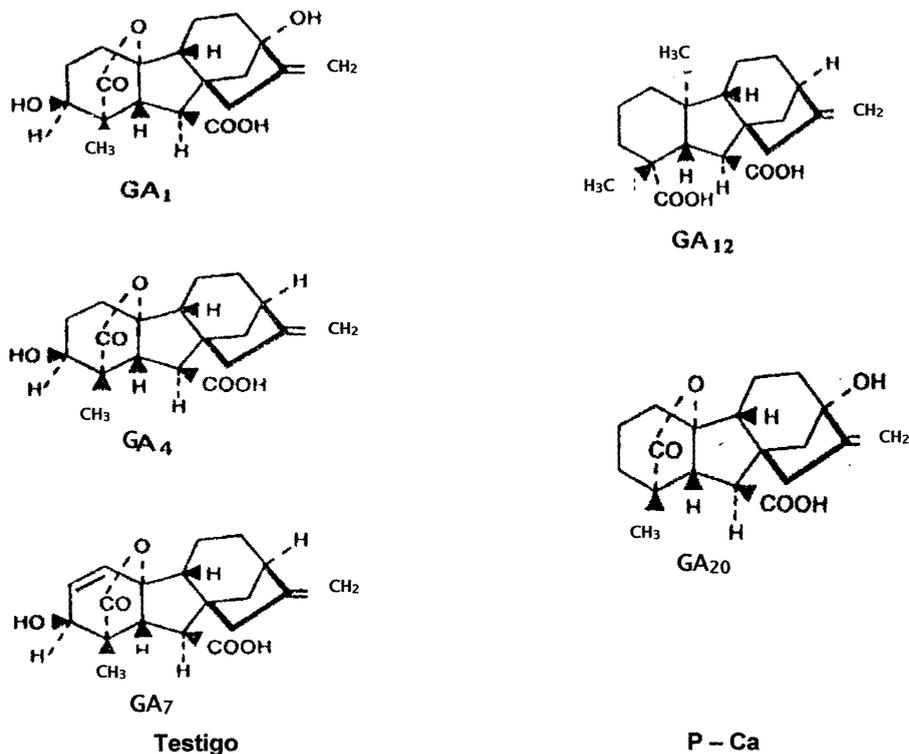
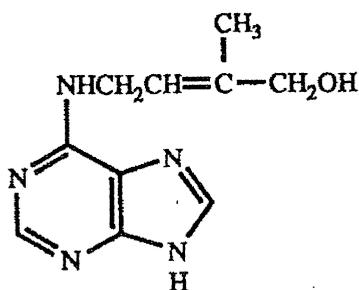


Figura 7. Giberelinas identificadas con la técnica de cromatografía de gases y espectrometría de masas en meristemos apicales de tomate saladette tratados con P - Ca a concentraciones de 175 y 250 mg·litro⁻¹.



Zeatina

Testigo y P - Ca

Figura 8. Citocinina identificada con la técnica de cromatografía de gases y espectrometría de masas en meristemos apicales de tomate saladette tratados con P - Ca a concentraciones de 175 y 250 mg·litro⁻¹.

CONCLUSIONES

De los resultados de esta investigación, y en las condiciones en que se realizó se establecen las siguientes conclusiones. La aplicación de prohexadiona de calcio en las concentraciones de 175 y 250 mg·litro⁻¹ aplicados a plantas de híbridos de tomate de crecimiento determinado e indeterminado cuando alcanzaron 12 hojas verdaderas, reduce el crecimiento vegetativo, aumenta el número de entrenudos, número de hojas y diámetro del tallo. Aumenta el número de frutos por planta, peso del fruto, firmeza del fruto y producción por planta. Las dosis de P-Ca utilizadas, reducen los niveles de giberelinas y aumentan las citocininas en meristemas apicales. Este retardante provoca el bloqueo de la síntesis de giberelinas A₁, A₄ y A₇.

LITERATURA CITADA

- Castellanos, J. Z. Y J. J. Muñoz R. 2003. La industria de la horticultura protegida en México. En: J. J. Muñoz-Ramos y J. Z. Castellanos (Eds). Manual de producción hortícola en invernadero. INCAPA. México. Pp. 1-17.
- Edgerton, L. J. 1986. Some effects of Paclobutrazol on growth and fruiting of apple, peach and cherry. *Acta Horticulturae* 179: 476-472.
- Evans, J. R.; Ishida, C.A.; Regusci, C. L.; Rademacher, W. 1997. Mode of action, metabolism and uptake of BAS-125W, prohexadione-calcium. *HortScience* 324: 557-558.
- Evans, L.; Regusci, C. L. 1999. Mode of action, metabolism and uptake of BAS-125W prohexadione-calcium. *HortScience* 34(7): 1200-1201.
- Fallahi, E. 1999. Metabolism, action and use of BAS-125W in apples. *HortScience* 34(7): 1192-1193.
- Muñoz R., J. J. 2003. El cultivo de tomate en invernadero. En: J. J. Muñoz-Ramos y J. Z. Castellanos (Eds). Manual de producción hortícola en invernadero. INCAPA. México. P.p. 226-262.
- Owens, L.; Stover, E. 1999. Vegetative growth and flowering of young apple trees in response to prohexadione-calcium. *HortScience* 34(7): 1194-1196.
- Pilatti, R.A. 1997. Cultivo Bajo Invernaderos. Pp.. 7-33. Editorial Hemisferio Sur, S.A. Universidad Nacional del Litoral, Buenos Aires, Argentina.
- Pérez, M.; Marquez, F. y Peña, A. 1997. Mejoramiento Genético de Hortalizas. U.A.Ch. Chapingo, Estado de México. P.p.149-161.
- Preece, J. and Read, P. 1993. *The Biology of Horticulture*. John Wiley & Design, Inc. Toronto, Canadá. P.p. 299-300.
- Quinlan, J. D.; Richardson, P. J. 1984. Effect of Paclobutrazol (PP333) on apple shoot Growth. *Acta Horticulturae* 146: 105-111.

- Rademacher, W. 1991. Inhibitors of giberellins biosíntesis. Application in agriculture and horticulture. In: N. Takahashi, B.O. Phinney, and J. MacMillan (eds.) Giberellins, Springer-Veriag, New York. P.p.296-310.
- Rademacher, W.; Kraus, M; Hoepfner, P.; Evans, J. R.; Evans, R. R.; 1998. Prohexadione-Ca. A new bioregulator for the control of vegetative growth in Apple. Data Report APE/HF 19984296RAD, BASF Agricultural Center, 67114 Limburgerhof, Germany.
- Ramírez, H.; A. Benavides; V. Robledo y J. Hernández. 2003. Efectos de Prohexadiona de Calcio en manzano (*Malus domestica* Borkh). En: Almaguer V.G.; T. Colinas L.; A Flores M.; R. Mora A.; E. Vidal L.; H. González R.; C. Ayala S.; J. M. Mejia M. (Eds). Memorias de resúmenes del X Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas, IX Congreso Nacional y II Internacional de Horticultura Ornamental. Chapingo; Méx., México. Vol. 10. p.365.
- Ramírez, H.; G.V. Hoad; A. Benavides and E. Rangel. 2001. Gibberellins in apple seeds and the transport of [³H]-GA₄. Rev. de la Soc. Quím. De México. 45(2):47-50.
- Rojas G., M. y H. Ramírez R. 1999. Control hormonal del desarrollo de las plantas. Editorial Limusa. México, D.F. 239 p.
- Rodríguez, R. R., Tabares, R. J. Y J. A. Medina. 1997. Cultivo Moderno del Tomate. 2ª. Edición. Madrid, España. Pp. 13-18.
- Sánchez B., F. 2003. Obtención de plantas ornamentales compactas, mediante la aplicación de Paclobutrazol y podas de formación. En: Almaguer V.G.; T. Colinas L.; A Flores M.; R. Mora A.; E. Vidal L.; H. González R.; C. Ayala S.; J. M. Mejia M. (Eds). Memorias de resúmenes del X Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas, IX Congreso Nacional y II Internacional de Horticultura Ornamental. Chapingo; Méx., México. Vol. 10. p.169.
- Sánchez L., A.; A. Reyes L., E. Padrón C.; S. Pérez C. y F. Arriaga C. 2003. Comportamiento y caracterización de diferentes genotipos de tomate (*Luopersicon esculentum* Mill); extrafirmes de hábito indeterminado. En: Almaguer V.G.; T. Colinas L.; A Flores M.; R. Mora A.; E. Vidal L.; H. González R.; C. Ayala S.; J. M. Mejia M. (Eds). Memorias de resúmenes del X Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas, IX Congreso Nacional y II Internacional de Horticultura Ornamental. Chapingo; Méx., México. Vol. 10. p.20.

- Siller C., J. H. 2003. Recolección, empaque y manejo poscosecha de tomate. En: J. J. Muñoz-Ramos y J. Z. Castellanos (Eds). Manual de producción hortícola en invernadero. INCAPA. México. Pp.. 298-309.
- Steffens, G. L.; Lin, J. L. T.; Stafford, A. E.; Metzger, J. D.; Hazebroek J. P. 1992. Giberellins content of immature apple seeds from paclobutrazol treated trees over three seasons. J. Plant Growth Regulators. 11: 165-170.
- Yáñez, R. J. N. 2002. Nutrición y regulación del crecimiento en hortalizas y frutales. Watts. Saltillo, Coahuila. Pp. 40-42.

14414