

**INFLUENCIA DE PROHEXADIONA-CA Y PROMOTORES DE OXIDACIÓN
SOBRE EL RENDIMIENTO, CAPSAICINA Y VITAMINA C EN CHILE
JALAPEÑO**

ODILÓN MÉNDEZ PAREDES

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.

Septiembre de 2008

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIRECCIÓN DE POSTGRADO

**INFLUENCIA DE PROHEXADIONA-CA Y PROMOTORES DE OXIDACIÓN
SOBRE EL RENDIMIENTO, CAPSAICINA Y VITAMINA C EN CHILE
JALAPEÑO**

TESIS POR

ODILÓN MÉNDEZ PAREDES

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. Martin Cadena Zapata

Dr. Jerónimo Landeros Flores

Director de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. Septiembre de 2008

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, a su planta docente que me transmitieron sus conocimientos, sus instalaciones y servicios.

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

Al Dr. **Homero Ramírez Rodríguez**, por su valioso tiempo que me dedico durante el desarrollo de la investigación y en la escritura de la tesis, por señalarme los errores, sugerencias y recomendaciones gracias.

Al Dr. **Adalberto Benavides Mendoza**, por guiarme en la revisión de este trabajo así como su asesoría en este trabajo.

Al Dr. **Martin Cadena Zapata**, por sus sugerencias.

Al M.C. **Antonio F. Aguilera Carbó**, por la colaboración prestada para este trabajo.

A la Lic. **Laura Olivia Fuentes Lara**, por el apoyo brindado en el laboratorio y amabilidad.

Al T.L.Q. **Carlos Alberto Arévalo Sanmiguel**, por su apoyo y consejos en la realización de los análisis de laboratorio.

A la M.C. **Mildred Inna Marcela Flores Verastegui**, por su apoyo en los análisis de laboratorio.

Al Dr. **Alejandro Zermeño González**, por su amistad durante este tiempo.

Al Dr. **José Hernández Dávila**, por sus consejos gracias.

Al Ing. **José de la Cruz Bretón**, por su apoyo en el invernadero.

DEDICATORIA

Al señor nuestro **Dios** por haberme permitido alcanzar una meta mas.

A mis padres, por sus apoyo, consejos, cariño y amor brindado en todo momento, gracias.

Sra. Maria Paredes Aladino

Sr. Odilón Méndez Osório

A mis hermanos, **Ely, Norma, Karina** y **Moy** por haberme apoyado e impulsado a terminar y de sus consejos proporcionados.

A mi esposa, **Marina Espinoza Alcántara**, por su amor y los gratos momentos que hemos pasado juntos.

A mis hijos, **Eunice** y **Uriel, Méndez Espinoza**, por su cariño y que me motivan a superarme.

A mis compañeros y amigos: **Cecilia, Nely, Zafra, Juan, Beto, Jorge, y Bruno**, por su amistad y apoyo brindado en el transcurso de mis estudios.

COMPENDIO

INFLUENCIA DE PROHEXADIONA-CA Y PROMOTORES DE OXIDACIÓN SOBRE EL RENDIMIENTO, CAPSAICINA Y VITAMINA C EN CHILE JALAPEÑO

Por

ODILÓN MÉNDEZ PAREDES

MAESTRÍA EN CIENCIAS
INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO

Buenavista, Saltillo, Coahuila. Septiembre 2008

Dr. Homero Ramírez Rodríguez. –Asesor-

Palabras clave: Prohexadiona de calcio, *Capsicum annuum*, ácido benzoico, ácido salicílico, antioxidantes.

La investigación se desarrolló para evaluar los efectos de prohexadiona de calcio (P-Ca) y su interacción con los promotores de oxidación, ácido benzoico (AB) y ácido salicílico (AS) en chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) var. M, sobre el contenido de capsaicina, vitamina C y rendimiento por planta.

Se cultivaron en invernadero en el 2007. Se realizaron tres etapas de aplicación, semilla, plántula y planta, de P-Ca (100, 150 y 200 mg·litro⁻¹), P-Ca (100, 150 y 200 mg·litro⁻¹) + ácido benzoico (1.00E-06 molar), P-Ca (100, 150 y 200 mg·litro⁻¹) + ácido salicílico (1.00E-06 molar) y agua (testigo). El tratamiento a la semilla se imbibió por ocho horas en las soluciones señaladas. En plántula y planta se asperjaron con un atomizador manual, realizándose las aplicaciones cuando tenían cuatro hojas verdaderas y 10 hojas verdaderas respectivamente.

El contenido de capsaicina mostró incrementos estadísticamente significativos en las tres etapas, con aplicaciones de P-Ca (100 y 200 mg·litro⁻¹) de forma individual o en combinación con AB y AS. En semilla, el contenido de vitamina C mostró un aumento significativo con la aplicación de P-Ca 100 mg·litro⁻¹. En el parámetro de rendimiento por planta, se observó incrementos significativos en las tres etapas, con aplicaciones de P-Ca (100, 150 y 200 mg·litro⁻¹) en forma individual o en combinación con AB y AS (1.00E-06 molar).

ABSTRACT

INFLUENCE OF PROHEXADIONE CALCIUM AND OXIDATION PROMOTERS ON YIELD, CAPSAICIN AND VITAMIN C IN JALAPEÑO PEPPER

BY

ODILÓN MÉNDEZ PAREDES

MASTER IN SCIENCE

PRODUCTION SYSTEM ENGINEERING

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

Buenavista, Saltillo, Coahuila. September 2008

Dr. Homero Ramírez Rodríguez. –Adviser–

Key words: Prohexadione calcium, *Capsicum annuum*, benzoic acid, salicylic acid, antioxidants.

The study was conducted for evaluation of the effects of prohexadione calcium (P-Ca) and its interaction with the oxidation promoter, benzoic acid (BA) and salicylic acid (SA) in jalapeño pepper (*Capsicum annuum* L.) var. M on

capsaicin, vitamin C and yield. The plants were grown under greenhouse conditions in 2007. Applications were carried out at the stages of: seed, seedling and plant of P-Ca (100, 150 and 200 mg·liter⁻¹), P-Ca (100, 150 and 200 mg·liter⁻¹) + benzoic acid (1.00E-06 molar), P-Ca (100, 150 and 200 mg·liter⁻¹) + salicylic acid (1.00E-06 molar) and water (control). The seeds were immersed for eighth hours in the treatments mentioned above, whereas seedling and plant stages were conducted by spray manually. The applications were done when plants reached four and 10 true leaves respectively.

The capsaicin content showed statistic increases in the three stages with P-Ca (100 and 200 mg·liter⁻¹), individually or in combination with BA and SA (1.00E-06 molar). The content of vitamin C showed a significant increase with the application of P-Ca 100 mg·liter⁻¹ to the seed. In the case of yield, the results showed significant increases in the three stages with P-Ca (100, 150 and 200 mg·liter⁻¹) individually or in combination with BA and SA (1.00E-06 molar).

ÍNDICE DE CONTENIDO

	PÁGINA
INTRODUCCIÓN	1
Objetivos.....	4
Hipótesis.....	4
REVISIÓN DE LITERATURA	5
Aspectos Generales del Chile.....	5
Requerimientos.....	6
Estructura del Fruto	6
Maduración del Fruto.....	7
Control Vegetativo.....	8
Biorreguladores del Crecimiento.....	8
Retardantes de Crecimiento.....	9
Prohexadiona de Calcio.....	9
Modo de Acción.....	10
Metabolismo.....	10
Absorción y Translocación.....	11
Promotores de Oxidación.....	11
Ácido Salicílico.....	12
Ácido Benzoico.....	12
Antioxidantes.....	13
Radicales Libres.....	14
Vitamina C.....	14

Capsaicinoides y Capsinoides.....	15
Biosíntesis de los Capsaicinoides.....	16
Capsaicina.....	17
ARTÍCULO.....	18
CONCLUSIONES.....	40
LITERATURA CITADA.....	41

INTRODUCCIÓN

En México es tradicional consumir chile. Esta hortaliza se utiliza en fresco, salsas y encurtidos (Nuez *et al.*, 1996). El fruto contiene minerales, fibras, agua, carotenoides, vitamina A y C; además de la pungencia que es la característica principal del chile (Nuez *et al.*, 1996; Díaz *et al.*, 2004). Los compuestos responsables de la pungencia son los capsaicinoides, de estos los que más se destacan son la capsaicina, dihidrocapsaicina y la norhidrocapsaicina que constituyen un 80-90% de los capsaicinoides (Jurenthish, 1979; Díaz *et al.*, 2004). Se ha reportado a los capsaicinoides como potentes antioxidantes que protegen al ácido linoleico contra el ataque de radicales libres; además reducen los metales como donadores de hidrógenos (Mori *et al.*, 2006; Rosa *et al.*, 2002; Díaz *et al.*, 2004).

El consumo de frutas y hortalizas tienen un efecto protector de radicales libres en el humano. Estudios clínicos indican la prevención de enfermedades asociadas a cáncer y enfermedades degenerativas con el consumo de ellos (Deepa *et al.*, 2006; Perucka y Materska, 2007). La protección contra estas enfermedades está ligada al consumo de antioxidantes. La vitamina C o ácido ascórbico depura al peróxido de hidrógeno en los cloroplastos en la planta

favoreciendo la eficiencia fotosintética (Devasagayam *et al.*, 2004; Padayatt *et al.*, 2001). En el ser humano, actúa como neutralizador de radicales libres inhibiendo la formación de nitrosamina carcinogénica y estimulando el sistema inmunológico, al promover la absorción de hierro, calcio y aminoácidos (Jiménez *et al.*, 2002; Johnston, 2003).

El uso de biorreguladores que actúen en armonía con la naturaleza y no causen efectos adversos en la salud humana abren la posibilidad de ser utilizados en la horticultura moderna (Ramírez, 2003; Rancaño-Arrijoja, 2005). Prohexadiona de calcio inhibe la biosíntesis de giberelinas biológicamente activas sin ser tóxica y de persistencia limitada. Este compuesto modifica el contenido de flavonoides en hojas de manzano (Roemmelt *et al.*, 2003), en el tomate aumenta el contenido de licopeno y se relaciona con la actividad catalasa y peroxidasa (Herrera-Gómez, 2007). En vid P-Ca indujo frutos con mayor contenido de antocianinas y con mayor persistencia en la intensidad aromática (Disegna *et al.*, 2006). El mecanismo de acción de P-Ca aun no es conocido. Rademacher (2000), sugiere que es factible que P-Ca estimule cambios en el espectro de los flavonoides teniendo una ruta alterna en la biosíntesis de los metabolitos secundarios.

El ácido salicílico induce tolerancia a bajas temperatura en plantas de papa (Dat *et al.*, 1998; López-Delgado *et al.*, 1998; Mora-Herrera y López-Delgado, 2006), y en tomate (Fuentes-Lara *et al.*, 2004). El ácido benzoico es un precursor del ácido salicílico y se encuentra de forma natural en las plantas, además actúa como un inductor de resistencia sistémica adquirida.

Kalt y Kushad (2000), indican que los antioxidantes de las frutas y hortalizas son de gran interés y representan una oportunidad en la agricultura para el mejoramiento de los productos hortícolas. Benavides (2002), menciona que es posible la manipulación de los mecanismos de defensa en las plantas y en los niveles de fitoquímicos antioxidantes específicos por medio de la ingeniería genética utilizando la aplicación exógena de evocadores químicos. Considerando la aplicación exógena de estos productos se plantea el siguiente objetivo e hipótesis.

OBJETIVO

Conocer la influencia de prohexadiona de calcio en combinación con el ácido benzoico y el ácido salicílico en el contenido de capsaicina, vitamina C y rendimiento por planta en el chile jalapeño.

HIPÓTESIS

La prohexadiona de calcio individual o en combinación con ácido benzoico o ácido salicílico modifica el contenido de capsaicina, vitamina C y rendimiento por planta en chile jalapeño.

REVISIÓN DE LITERATURA

Aspectos Generales del Chile

El chile (*Capsicum annum* L.) pertenece a la familia de las solanáceas y actualmente se considera que está formada por unos 90 géneros, los cuales se encuentran divididos entre dos subfamilias: *Solanoideae* y *Cestroideae* (Nuez *et al.*, 1996). La diferencia entre estas dos subfamilias se basa en diferentes modelos de desarrollo del embrión. En las *Solanoideae* el embrión está desarrollado de un diámetro más o menos uniforme. En las *Cestroideae* el embrión es típicamente recto y ligeramente curvado (Nuez *et al.*, 1996). La mayoría de las especies del género *Capsicum* son originarias de América del Sur. La popularización de su consumo se ha extendido a muchos países, no obstante, México es el país con mayor variedad de chiles, tanto silvestres como cultivados (López-Riquelme, 2003). El nombre de chile jalapeño var. Jalapeño M proviene de la ciudad de Xalapa en el estado de Veracruz en donde antiguamente se comercializaba el producto, aun cuando en esa región se siembra poco este tipo de chile. El fruto es carnoso con un espesor de

alrededor de 5 mm, picante, de buena aceptación tanto en el mercado nacional como extranjero. El chile jalapeño cuando llega a su estado de madurez se procesa en salsas, encurtidos, seco y como chile chipotle (Nuez *et al.*, 1996).

Requerimientos

Nuez *et al.*, (1996) mencionan que el chile se produce mejor en un clima relativamente caluroso, aparentemente resiste mejor la sequía en comparación al tomate o la berenjena; sin embargo, los mejores rendimientos están relacionados con la cantidad de lluvias bien distribuidas. Los rangos de temperatura para germinación es de 24-29 °C, mientras que los días a emergencia son de 8-10. Las temperaturas para el desarrollo son de 18-26 °C. Las altas temperaturas provocan la caída de flores y frutos. La humedad óptima para su desarrollo es de 50-70 %. La planta crece en diferentes tipos de suelos desde ligeros hasta pesados siendo los más ideales los limo arenosos, profundos, bien aireados ricos y con buen drenaje. El pH debe de oscilar de 5.5-6.8.

Estructura del Fruto

El fruto es una baya, de estructura hueca llena de aire con forma de cápsula, teniendo un pericarpio grueso, jugoso, un tejido placentario al que se le unen las semillas. El pericarpio está compuesto por tres capas: la primera

epicarpo o capa externa, la segunda mesocarpo o zona carnosa intermedia, la tercera endocarpo o capa membranosa interna. El tejido placentario se desarrolla a lo largo de la sutura de los carpelos, sobre la superficie se desarrollan los óvulos para dar lugar a las semillas (Salazar-Olivo y Silva-Ortega, 2004).

Maduración del Fruto

El fruto del chile jalapeño es climatérico, cuando ocurre un cambio de color verde-rojo hay cambios en su composición cualitativa (color, sabor, textura y olor). El cambio de color de verde-rojo parece estar inducida por el fitocromo al aparecer los cromoplastos portadores de pigmentos en las células que rodean a los vasos posteriores a la zona externa del pericarpo. En este proceso interviene el etileno y el ácido abscísico, mientras que los carotenoides rojos, capsantino y capsorrubeno son pigmentos terminales (Nuez *et al.*, 1996). La textura del fruto está asociada a procesos hidrolíticos, al mismo tiempo que se producen varios tipos de aldehídos, alcoholes, terpenos y aceites volátiles. Los aceites están presentes en el pericarpo en rangos de 0-30 % en base a peso seco. Un factor que juega un papel decisivo en la maduración, es la temperatura con un rango entre 15 y 25 °C.

El Control Vegetativo

El acomodo espacial de las plantas afecta el rendimiento y desarrollo morfológico del cultivo del chile (Stofella y Bryan, 1998). Las altas densidades en chile tienden a crecer más, presentando menores diámetros de tallos además de menor peso seco de la planta (Decoteau y Graham, 1994; Motsenbocker, 1996). Una de las prácticas agrícolas más buscadas es producir plantas más compactas, para permitir mayores densidades por hectárea y menor acame (Rojas y Ramírez, 1993).

Biorreguladores del Crecimiento

Los biorreguladores auxinas, giberelinas, citocininas, ácido abscísico y etileno son sustancias que tienen funciones decisivas en diferentes procesos o etapas de las plantas. El medio ambiente juega también un papel muy importante ya que puede modificar el desarrollo de las mismas (Weaver, 1996; Jankiewicz, 2003). Normalmente sus efectos están regulados por los mecanismos internos que tienen las plantas. Estas hormonas son sintetizadas en muy bajas concentraciones en los cloroplastos y se translocan a otras regiones de la planta en donde modifican su crecimiento y desarrollo (Yáñez, 2002).

Retardantes de Crecimiento

Los retardantes de crecimiento en las plantas reducen la división y elongación celular de los brotes, regulando de esta forma la altura de las plantas de manera fisiológica, sin provocar malformaciones en las hojas o los tallos (Weaver, 1996). Owens y Stover (1999), reportaron que otros productos como Daminozida y Clormequat también inhiben el crecimiento vegetal pero presentan una persistencia en el tejido vegetal comestible con efectos toxicológicos al ser humano y por lo tanto tienen restricciones de uso agrícola.

Prohexadiona de Calcio

BAS 125W es el código experimental del regulador de crecimiento prohexadiona de calcio. Su nombre químico sistemático se identifica como: calcio 3-oxido-4-propionil-5-oxo-3-ciclohexano-carboxilato. Otros códigos de este ingrediente activo son BX-112, KIM 112, y BAS 9054. El ingrediente activo de prohexadiona de calcio es una patente de Kumiai Chemical Industry CO, el cual fue registrado con uso en arroz (*Oryza sativa* L.) en Japón. En Estados Unidos se registro para usarse en manzano (*Malus x domestica* Borkh.) y cacahuate (*Arachis hypogaea* L.). En los países Europeos se registró como BASF AG para uso en granos pequeños y manzanos (Rademacher, 1993).

La aplicación foliar de prohexadiona de calcio en un rango de 125 a 250 mg·Litro⁻¹ origina un control efectivo del crecimiento vegetativo en los brotes de manzanos. El vigor vegetativo está influenciado por numerosos factores

incluyendo la carga de fruta, variedades, portainjerto, edad, poda y sistema de formación. La aplicación de P-Ca en los brotes nuevos se recomienda cuando estos alcanzan de 5-10 cm de crecimiento nuevo (Ramírez, 2003; Costa *et al.*, 2004; Ramírez *et al.*, 2005).

Modo de Acción. La prohexadiona de calcio inhibe la biosíntesis de las giberelinas A₁, A₄ y A₇ reduciendo con esto los brotes de crecimiento. La estructura de prohexadiona de calcio es similar al ácido 2-oxoglutámico, el cual es un co-sustrato de la diogenasa, responsable de catalizar las hidroxilaciones involucradas en la biosíntesis de esas hormonas (Nakayama *et al.*, 1990; Nakayama *et al.*, 1992). El efecto de P-Ca es la hidroxilación de 3 β , y como consecuencia de ello, el reducir los niveles de AG₁ (altamente activo) causando una acumulación inmediata del precursor AG₂₀ (inactivo) (Rademacher, 1993). Las diogenasas relacionadas con el metabolismo de los flavonoides pueden afectar algunos límites y compuestos relacionados (Evans *et al.*, 1999).

Metabolismo. La degradación de P-Ca en plantas superiores ocurre en pocas semanas, después de la asimilación y del rompimiento de su anillo. Se convierte en propano-1,2,3- tricarbóxico (ácido tricarbóxico), el cual se incorpora al metabolismo de la planta (Evans *et al.*, 1999). En el suelo, primero se descompone en CO₂ con una vida promedio de siete días. En el agua, la P-

Ca se degrada por fotólisis a bióxido de carbono y otros productos naturales. En mamíferos, P-Ca es rápidamente absorbido y excretado, (Evans *et al.*, 1999).

Absorción y Translocación. La prohexadiona de calcio es absorbido en manzana por el follaje, requiriendo un máximo de ocho horas. Esta hormona es translocada en forma acropetala a los puntos de crecimiento de los brotes individuales. El movimiento basipetalo es mínimo ya que típicamente los brotes tratados son los afectados. P-Ca no persiste en la planta o afecta el crecimiento de la siguiente temporada (Evans *et al.*, 1999).

Promotores de Oxidación

La aplicación de los ácidos orgánicos de forma exógena activa un complejo sistema de señalización vegetal, dando lugar a repuestas adaptativas a ambiente extremos, activando los sistemas del daño oxidativo (Benavides, 2002). Además de cumplir algunas funciones de regulación del desarrollo de la planta (Raskin, 1992), estos ácidos afectan la maduración del fruto del tomate (Jiménez *et al.*, 2002).

Ácido Salicílico

El ácido salicílico pertenece al grupo de los fenólicos, y está relacionado al metabolismo secundario de las plantas, involucrado en una gran cantidad de actividades de regulación (Raskin, 1992).

Según Raskin (1992), el ácido salicílico (AS) tiene algún papel regulador sobre el balance de oxidación/reducción de las células vegetales, lo que explica la capacidad de inducir respuestas tan variadas como la fisiológica, morfogénica y adaptativa de las plantas. El ácido salicílico, cuando se aplicó de forma exógena en concentraciones de 10^{-2} - 10^{-8} M originó un aumento en la biomasa en soya (Gutiérrez *et al.*, 1998). López-delgado *et al.*, (1998) encontraron que el ácido salicílico aplicado en trigo a concentraciones de 10^{-4} - 10^{-6} molar aumentaron el número de granos de 1.3-4 % por espiga en comparación al testigo.

Ácido Benzoico

El ácido benzoico es un evocador del AS. Se encuentra en plantas vegetales en forma natural, libre y en derivado sencillo como sales, esteres y amidas. Esta substancia es un inductor de la resistencia sistémica adquirida (Raskin, 1992; Dat *et al.*, 1998; Mora-Herrera y López-Delgado, 2006). El benjuí (*Styrax benzoin*) puede contener hasta un 20 % de ácido benzoico en estado libre o en combinación. El AB se descompone fácilmente por calentamiento. La resina acaroide de la *Xanthorrhoea hastilis* contiene de 4.5 a 7 % de este ácido.

El AB se encuentra en pequeñas concentraciones en productos naturales. La corteza del cerezo negro silvestre, el castóreo, los arándanos, las ciruelas, el clavo maduro, la frambuesa, la grosella y el fruto de *Gaylussacia baccata* contienen ácido benzoico o compuestos muy afines. Benavides (2002), menciona que con aplicaciones de ácido benzoico se logró resistencia al estrés hídrico en plántulas de repollo y tomate. La aplicación exógena de AB redujo pérdidas de peso en frutos de tomate maduro (Fuentes-Lara *et al.*, 2004).

Antioxidantes

Un antioxidante es una sustancia sintética o natural que en pequeñas concentraciones previene el deterioro por acción del oxígeno ambiental. Este protege biológicamente a los tejidos del daño por radicales libres, transformándose en radicales libres no tóxicos. Los antioxidantes consisten de una cadena de proteínas. En este grupo se identifican las vitaminas C y E, tocoferoles, carotenoides, flavonoides y polifenoles. Entre las moléculas antioxidantes, los flavonoides juegan un papel único en la planta. Los carotenoides y tocoferoles se integran al metabolismo de plantas y en humanos. Los flavonoides no parecen tener funciones como antioxidantes en plantas; sin embargo los flavonoides pueden tener una contribución en la dieta humana, ya que son benéficos en la salud (Prior y Cao, 2000).

Radicales Libres

Los radicales libres son químicos con electrones impares; además, están compuestos de átomos y electrones. Al estar de forma impar son llamados radicales libres. Este radical secuestra electrones oxidando a otras moléculas para tener siempre pares de electrones. Los electrones no pares usualmente muestran otro electrón para reintegrarse. De este modo los radicales libres son generalmente reactivos que atacan a otra molécula. Los radicales libres y especies activas de oxígeno son formadas por varios recursos intrínsecos como la luz, calor y metales. Estos, son formados *in vivo* por varias rutas bioquímicas en diferentes tiempos y sitios (Prior y Cao, 2000; Mittler, 2002; Halliwell, 2001).

Vitamina C

El ácido L-ascórbico es un compuesto abundante en los tejidos verdes, el cual depuran al peróxido de hidrógeno en los cloroplastos y favorece la eficiencia fotosintética. Es esencial en los procesos metabólicos en el crecimiento y en la diferenciación floral (Foyer, 1993). Las variaciones en el contenido de vitaminas depende del tipo de cultivar, estado madurez, manejo de la planta y el clima (Padayatt *et al.*, 2001). El ascorbato funciona como un reductor de radicales libres minimizando el daño oxidativo e inhibiendo la formación de nitrosamina carcinogénica; también, estimula el sistema inmunológico, la absorción de hierro, calcio y aminoácidos (Johnston, 2003). El ácido L-ascórbico parece ser sintetizado a partir de las hexosas, convirtiendo la D-glucosa en ascorbato (Foyer, 1993).

Capsaicinoides y Capsinoides

Los primeros reportes de capsaicinoides fueron de capsaicina (ácido Vanillilamida de 8-metil-trans-6-enoico), dihidrocapsaicina (ácido vanillilamida de 8 metilnonanoico), nordihidrocapsaicina 1 (ácido vanillilamida de 9-metildec-trans-7-enoico) y homodihidrocapsaicina 1 (ácido vanillilamida de 9-metildecanoico) (Díaz *et al.*, 2004; Vázquez-Flota *et al.*, 2007). Los productos referidos también han sido llamados: homodihidrocapsaicina II, homocapsaicina II, vanillilamidas de octanoico, nonanoico y ácido decanoico, bishomocapsaicina, trihomocapsaicina, nordihidrocapsaicina II, zucapsaicina (civamida), nonivamida y ω -hidrocapsaicina. De estos componentes, la capsaicina y dihidrocapsaicina son los que más abundan en las especies de *Capsicum*. La suma del total de los capsaicinoides varía grandemente; aunque, la proporción de capsaicina y de dihidrocapsaicina es de 77-90 % en el fruto de la especie *C. annuum* y de 89-98 % en *C. frutescens* (Estrada *et al.*, 2001). La diferencia de los diferentes capsaicinoides es la longitud de su cadena alifática, la presencia del doble enlace, el punto de ramificación y la pungencia (Díaz *et al.*, 2004). La mayoría de los capsaicinoides son pungentes, pero hay capsaicinoides no picantes, como el ω -hidroxicapsaicina (Estrada *et al.*, 2001). El grupo de capsaicinoides no pungentes se llaman capsinoides (Kobata *et al.*, 1999; Kouzou *et al.*, 2006). Los capsaicinoides son sintetizados a partir de la vanillilamina; mientras que los capsinoides se derivan del alcohol vanillila (Díaz *et al.*, 2004).

Biosíntesis de los Capsaicinoides

La capsaicina es una amida derivada de vanillilamina y de ácido 8-metilnon-trans-6-enoico (Benett y Kirby, 1968). La ruta de la biosíntesis de la capsaicina está bien caracterizada. La mitad de vanillilamina es obtenida de la fenilalanina por la ruta de shikimato/arogenate. La otra mitad es derivada de valina. La primera se inicia con la síntesis de la fenilalanina la cual pasa luego a ácido cinámico, ácido *p*-cumárico, ácido cafeico, ácido ferúlico, vainillina y vanillilamina. Lo anterior, por acción de las enzimas fenilalanina amino liasa, cinamato 4-hidroxilasa, cumarato 3-hidroxilasa y ácido cafeico metiltransferasa. La otra mitad se inicia con la valina la cual pasa a α -Ceto-isovalerato, isobutil CoA, 3x malonil CoA, a 8 metil nonanoil CoA, a 8-metil-6-noneoil CoA y a capsaicina por acción de las enzimas: aminotransferasa deshidrogenasa, Kas β -cetoacil sintasa, tioesterasa, desaturasa y CS capsaicinoide sintasa (Estrada *et al.*, 2001). La vainillina es un intermediario tardío que es aminado por acción de una transaminasa dando lugar a la vanillilamina la cual, por acción de una aciltransferasa llamada capsaicinoide sintasa, condensa con el derivado acil-graso para a su vez dar lugar a los capsaicinoides. Una vez formada se almacena en la vesícula derivada de las células epidermales de la placenta (Díaz *et al.*, 2004; Vázquez-Flota *et al.*, 2007).

Capsaicina

La capsaicina es el compuesto más abundante de los capsaicinoides presentes en el chile y principal responsable de la pungencia de este. Aunque, el compuesto se aisló por primera vez en 1846 por L.T. Thresh, su estructura química se determinó hasta 1919 (Szallasi y Blumberg, 1999). La capsaicina es el principal pungente del chile, encontrándose ausente en las variedades “dulces” (Rosa *et al.*, 2002; Díaz *et al.*, 2004). Es una sustancia de naturaleza alcaloide, más concretamente se trata de un protoalcaloide. Este es un producto de la condensación del ácido decilénico y del 3-hidroxi-4 metoxi benzilamida. Se sabe que la capsaicina no es un compuesto simple, sino que se trata de una mezcla de varias amidas, llamados capsaicinoides, siendo la capsaicina el más importante entre ellas. El contenido de capsaicina es mayor en la placenta y en el septo, en donde representa un 2.5 % de la materia seca mientras que el contenido medio en el fruto es de 0,6 %, en la semillas 0,7 % y en el pericarpio 0,03 % (Estrada *et al.*, 2001; Leete y Loudon, 1968). El contenido en capsaicina depende de la variedad de chile y de factores ambientales. La formación de capsaicina es mayor a temperaturas alrededor de los 30 °C (Díaz *et al.*, 2004; Vazquez-Flota *et al.*, 2007).

**INFLUENCIA DE PROHEXADIONA-CA Y PROMOTORES DE OXIDACIÓN
SOBRE EL RENDIMIENTO, CAPSAICINA Y VITAMINA C EN CHILE
JALAPEÑO**

H. Ramírez^{1¶}; O. Mendez-Paredes¹; A. Benavides-Mendoza¹.

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

RESUMEN

El chile jalapeño proporciona antioxidantes importantes en la dieta humana. En México existe la tendencia a mejorar su calidad y rendimiento. Por lo tanto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la influencia de prohexadiona de calcio (P-Ca), ácido benzoico (AB) y ácido salicílico (AS) en rendimiento y niveles de capsaicina y vitamina C en chile jalapeño var. M. El estudio se realizó en invernadero y laboratorio de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en 2007. Los tratamientos consistieron en la aplicación a semilla, plántula y planta de P-Ca, AB, AS y agua (testigo). Las variables de estudio fueron niveles

de capsaicina y vitamina C en frutos maduros y rendimiento. El nivel de capsaicina y rendimiento por planta mostraron incrementos estadísticamente significativos en las tres etapas referidas con aplicación de P-Ca (100, 150 y 200 mg·litro⁻¹) en forma individual o en combinación con AB y AS (1.00E-06 molar). El contenido de vitamina C aumentó significativamente con el tratamiento P-Ca 100 mg·litro⁻¹ a semilla.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: chile jalapeño, antioxidantes, capsaicina, vitamina C, ácido salicílico, ácido benzoico.

**INFLUENCE OF PROHEXADIONE CALCIUM AND OXIDATION
PROMOTERS ON YIELD, CAPSAICIN AND VITAMIN C IN JALAPEÑO
PEPPER**

ABSTRACT

Jalapeño pepper provides important antioxidants in the human diet. In Mexico, there is a tendency to improve its yield and edible quality. Therefore, the purpose of this work was to evaluate the effect of prohexadione calcium (P-Ca), benzoic acid (BA) and salicylic acid (SA) on yield and the levels of capsaicin and vitamin C in jalapeño pepper var. M. The study was conducted under greenhouse and laboratory conditions at Universidad Autonoma Agraria Antonio

Narro in 2007. The treatments applied in the stages of seed, seedling and plant were P-Ca, BA, SA, and water (control). The impact of them was evaluated on the levels of capsaicin and vitamin C in ripen fruits and on total yield per plant. The content of capsaicin and yield were statistically higher in the three stages with applications of P-Ca (100, 150 and 200 mg·liter⁻¹) individually or in combination with BA and SA (1.00E-06 molar). The level of vitamin C increased when P-Ca at 100 mg·liter⁻¹ was applied to the seed.

ADDITION KEY WORDS:, jalapeño pepper, antioxidants, capsaicin, vitamin C, salicylic acid, benzoic acid.

INTRODUCCIÓN

El consumo de productos hortícolas proporciona al ser humano minerales, fibras, agua y antioxidantes. Estos elementos contribuyen a observar una buena salud y calidad de vida entre las personas. En México existe la tradición en consumir chile en fresco y/o procesado. El chile jalapeño forma parte de la dieta mexicana y hoy en día es una de las especies de mayor demanda en el mercado nacional e internacional (Nuez *et al.*, 1996). Su fruto se caracteriza por la producción de capsaicinoides, de los cuales la capsaicina y la dihidrocapsaicina destacan por su efecto en la pungencia del mismo (López-

Riquelme, 2003; Díaz *et al.*, 2004; Vázquez-Flota *et al.*, 2007). Los capsaicinoides han demostrado ser antioxidantes potentes que protegen al ácido linoleico contra el ataque de radicales libres, la autooxidación y la oxidación mediada por metales (Rosa *et al.*, 2002; Díaz *et al.*, 2004).

La vitamina C presente en el fruto de chile jalapeño es un antioxidante que también actúa como un reductor de radicales libres, propiedad que contribuye a minimizar el daño oxidativo en ese órgano (Benenet y Kirby, 1968; Padayatt *et al.*, 2001). Estudios en salud humana reportan que el consumo de frutas y hortalizas tienen un efecto protector contra enfermedades como el cáncer, diabetes, daños cardiovasculares, artritis, cataratas y desordenes en el sistema nervioso central (Rodríguez *et al.*, 2001; Devasagayam *et al.*, 2004; Mori *et al.*, 2006). La protección a estas enfermedades está ligada a la presencia de antioxidantes en el órgano hortícola consumido (Johnston, 2003; Joshipura *et al.*, 1999).

El uso de biorreguladores que actúen en armonía con la naturaleza y no causen efectos adversos en la salud humana es una alternativa en la horticultura moderna (Ramírez, 2003). La prohexadiona de calcio es un retardante del crecimiento con esas características que ha demostrado ser un inhibidor de la biosíntesis de giberelinas biológicamente activas (Rademacher, 2000). Este compuesto modifica el contenido de flavonoides en hojas de manzano (Roemmelt *et al.*, 2003) y aumenta considerablemente el nivel de licopeno en frutos de tomate (Ramírez *et al.*, 2006). El ácido salicílico participa de forma importante en la cascada de señalización vegetal, reflejada en una adaptación a

ambientes extremos, así como a la inducción de la resistencia sistémica adquirida (Raskin, 1992). Se ha reportado que el ácido salicílico induce tolerancia a bajas temperaturas en plantas de papa (López-Delgado *et al.*, 1998; Mora-Herrera y López-Delgado, 2006). El ácido benzoico es un ácido fenólico que se considera precursor del ácido salicílico y se encuentra en forma natural en las plantas. Este compuesto actúa también como un inductor de resistencia sistémica adquirida (Benavides-Mendoza *et al.*, 2007). En años recientes se ha determinado el nivel de antioxidantes en varias especies hortícolas (Prior y Cao, 2000; Tosun *et al.*, 2003). Sin embargo la experiencia relacionada al impacto de prácticas agrícolas que modifiquen los niveles de antioxidantes en las plantas es escasa (Asami *et al.*, 2003). Kalt y Kushad (2000) manifiestan que el incremento en los niveles de antioxidantes en frutas y hortalizas es un tema de gran interés y representa una oportunidad en la estrategia actual dirigida al mejoramiento de la calidad de productos hortícolas. En la actualidad es factible manipular en plantas los mecanismos involucrados en la síntesis de antioxidantes específicos y rendimiento por medio de ingeniería genética y aplicación de biorreguladores (Benavides, 2002). Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue conocer la influencia de P-Ca, AB y AS en el rendimiento y niveles de capsaicina y vitamina C en chile jalapeño.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó durante 2007 en un invernadero con control de temperatura y humedad relativa, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. Se utilizó semilla certificada de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) var. M. En las fases semilla; semilla + plántula + planta y plántula + planta fueron aplicados los siguientes tratamientos: P-Ca 100, 150 y 200 mg·litro⁻¹; P-Ca 100, 150 y 200 mg·litro⁻¹ + ácido benzoico 1.00E-06 molar; P-Ca 100, 150 y 200 mg·litro⁻¹ + ácido salicílico 1.00E-06 molar y testigo (agua). Las semillas fueron sembradas el 14 de junio de 2007 en cajas de poliestireno de 200 cavidades, utilizando como sustrato peat moss Premier Mix. El tratamiento a las semillas consistió en imbibirlas durante ocho horas en cada solución señalada; mientras que en la etapa de plántula y planta, los tratamientos fueron asperjados con atomizador manual. Tan pronto las plántulas alcanzaron dos hojas verdaderas, fueron trasplantadas a bolsas de plástico negro de 25 X 30 cm con una mezcla de peat moss, vermiculita y perlita (2:1:2 v/v). Los tratamientos foliares se realizaron con cuatro hojas verdaderas en plántula y 10 hojas verdaderas en planta. Se utilizó un diseño estadístico de parcelas divididas y anidamiento del factor dosis con tres repeticiones por tratamiento. Se utilizó la prueba de Tukey para estimar diferencias estadísticas con el paquete SAS (2000). Las gráficas se construyeron con el programa SigmaPlot versión 11.0 (SigmaPlot, 2008).

Determinación de capsaicina

Cuando el 80 % de los frutos alcanzaron su madurez fisiológica (Ramírez *et al.*, 2003), se cosecharon y conservaron a -20 °C. En el laboratorio, las muestras de chile se descongelaron. Se tomó un gramo de peso fresco en cada tratamiento y se maceró en un mortero, al que se le agregó 10 ml de etanol y se agitó por 15 minutos. Se filtró con papel Whatman 1 y luego se aforó a 25 ml con etanol. La muestra se trasladó a un matraz de separación y se agregaron 2.5 ml de solución amortiguadora con pH 2.8 más 0.5 ml de etanol, 20.5 ml de agua destilada y 10 ml de solución Adogen-Tolueno. Se agitó vigorosamente 1 minuto. Luego de la separación, la fase orgánica conteniendo la capsaicina fue leída en un espectrofotómetro (Geneys 10 uv Thermo Electro Corp) a una longitud de onda de 286 nm. Lo anterior se hizo por triplicado en cada muestra. Para determinar el contenido de capsaicina en cada muestra, se construyó una curva de calibración con este antioxidante en un rango de 0-0.40 mg·ml⁻¹, combinada con los solventes referidos.

Determinación de vitamina C

De las muestras descritas anteriormente, se maceró 1 mg con 10 ml de ácido clorhídrico al 2 %. Se homogeneizó con agua destilada. Se filtró a través de gasa y se colectó en un matraz de Erlenmeyer. Se tomaron 10 ml del filtrado en un matraz igual y se tituló con 2,6 diclorofenolindofenol por 30 segundos, cuando alcanzó la solución un color rosa. El contenido de vitamina C se determinó utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{vitamina C} = \frac{(\text{ml utilizados de 2,6 diclorofenolindofenol} \times 0.088 \times \text{volumen total} \times 100)}{(\text{volumen de la alicuota} \times \text{peso de la muestra})}$$

(mg·100g PF)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Nivel de capsaicina

Los efectos de los biorreguladores en los niveles de capsaicina en frutos de chile se ilustran en la Figura 1. En los tratamientos a semilla, se observó que la aplicación de P-Ca a 100 mg·litro⁻¹ individual o combinada con AB o AS 1.00E-06 molar produjeron incrementos significativos de este antioxidante ($P \leq 0.05$) al compararse con el resto de soluciones. En las aplicaciones realizadas en las etapas fenológicas de semilla + plántula + planta, los tratamientos que provocaron un aumento significativa ($P \leq 0.05$) en el nivel de capsaicina fueron P-Ca a 200 mg·litro⁻¹, individual o cuando se combinó con AB o AS a una concentración de 1.00E-06 molar. La respuesta a las aplicaciones foliares de los tratamientos en las fases de plántula + planta resulto en un mayor nivel de capsaicina solamente en los frutos provenientes de la concentraciones de P-Ca 150 mg·litro⁻¹ + AB 1.00E-06 molar. La información sobre la influencia de P-Ca en los niveles de capsaicina es muy escasa; sin embargo, se conoce que este retardante de crecimiento tiene la capacidad de modificar la ruta biosintética de

los flavonoides en peral, generando nuevos flavonoides ligados a la actividad antioxidante en tejidos jóvenes de esa especie frutal (Roemmelt *et al.*, 2003). El P-Ca ha sido reportado como inductor de otros antioxidantes en varias especies hortícolas. Disegna *et al.*, (2002) al aplicar P-Ca en uvas para vino lograron frutos con mayor contenido de antocianinas. En acelga, repollo y brócoli se han reportado incrementos en antioxidantes totales cuando las plantas recibieron tratamientos con P-Ca en un rango de 100-150 mg·litro⁻¹ (Rancaño-Arrijoja, 2005). El contenido de licopeno en frutos cosechados de tomate fue notablemente incrementado cuando se aplicó a las plantas P-Ca a dosis de 175 mg·litro⁻¹ (Herrera-Gómez, 2007). El mecanismo de acción a través del cual P-Ca origina su efecto, no es conocido. De acuerdo a los reportes de Rademacher (2004) y la experiencia observada en este estudio es factible que P-Ca estimula cambios en el espectro de los flavonoides provocando una ruta alterna en la biosíntesis de metabolitos secundarios. Se conoce que la capsaicina es sintetizada a partir de la fenilalanina y ácidos trans-cinámicos. Estos, a su vez se estimulan por la acción de las enzimas fenilalanina amino liasa, cinamato 4-hidroxilasa, cumarato 3-hidroxilasa y ácido cafeico metiltransferasa (Díaz *et al.*, 2004; Vázquez-Flota *et al.*, 2007). Esta hipótesis es apoyada por Herrera-Gómez (2007) quien encontró en tomate que el incremento en licopeno causada por P-Ca se relacionó directamente con un aumento en la actividad de las enzimas catalasa y peroxidasa.

El ácido benzoico y su derivado ácido salicílico son compuestos fenólicos involucrados en el metabolismo secundario de plantas (Rancaño-Arrijoja, 2005).

Esta característica les permite fortalecer la defensa de la planta a condiciones adversas de medio ambiente al aumentar su capacidad antioxidante (Raskin, 1992). La aplicación de estas dos sustancias ha probado aumentar el contenido de antioxidantes totales en diversas hortalizas (Ramírez *et al.*, 2006). El mecanismo de acción de ambos ácidos se ha relacionado con incrementos en la actividad de enzimas como la catalasa (Mora-Herrera y López-Delgado, 2006). En base a estas experiencias, es posible considerar que el estímulo de AB y AS en la producción de capsaicina (Figura 1) puede ser mediado también a través de un aumento en la actividad enzimática ligada a la síntesis de este antioxidante.

Nivel de vitamina C

La Figura 2 muestra los efectos de tratamientos en el contenido de vitamina C en frutos de chile. Se observó que de las aplicaciones realizadas en las fases mencionadas solamente tres ejecutadas a la semilla respondieron con aumentos en este antioxidante natural. La aplicación de P-Ca $100 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ mostró superioridad estadística ($P \leq 0.05$) al resto de las dosis. Los tratamientos P-Ca $100 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1} + \text{AB } 1.00\text{E}-06$ molar y P-Ca $200 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1} + \text{AS } 1.00\text{E}-06$ molar también provocaron una tendencia a incrementar el nivel de vitamina C. Se ha demostrado que P-Ca, AB y AS estimulan la producción de antioxidantes en uva, durazno, manzano, brócoli, acelga, repollo y tomate (Rademacher, 2000; Herrera-Gómez, 2007). Esas experiencias soportan lo observado en este trabajo con el aumento en vitamina C cuando la semilla fue tratada con esos compuestos (Figura 2). Benavides *et al.*, (2007) han señalado que los

promotores de antioxidantes como AB y AS ejercen su efecto al fortalecer el mecanismo de tolerancia en plantas al estrés ambiental. Esta respuesta, Mora-Herrera y López-Delgado (2006), la ligan con aumentos en los niveles de antioxidantes. La tolerancia al estrés de temperaturas frías se relaciona con un alto contenido de vitamina C en hojas (Laing *et al.*, 2007) y frutos (Mozafar, 1994). Por lo tanto, P-Ca, AB y AS presentan efectos prometedores como inductores de vitamina C en chiles jalapeños cuando son aplicados a la semilla. Lo observado en esta investigación demuestra que dependiendo de la etapa de aplicación de promotores de oxidación será la respuesta al contenido de capsaicina (Figura 1) o vitamina C (Figura 2) en el fruto de chile jalapeño.

Rendimiento

Los efectos de tratamientos en el rendimiento por planta se presentan en la Figura 3. Se observaron aumentos significativos ($P \leq 0.05$) en las diferentes fases de aplicación. En semilla, las dosis de P-Ca $100 \text{ mg} \cdot \text{litro}^{-1}$ + AB $1.00\text{E}-06$ molar y P-Ca $150 \text{ mg} \cdot \text{litro}^{-1}$ + AS $1.00\text{E}-06$ molar fueron los más destacados. Cuando los tratamientos se aplicaron vía semilla + plántula + planta, el rendimiento fue estadísticamente superior con P-Ca $100 \text{ mg} \cdot \text{litro}^{-1}$ + AB $1.00\text{E}-06$ molar y P-Ca $200 \text{ mg} \cdot \text{litro}^{-1}$ + As $1.00\text{E}-06$ molar. La aplicación foliar en las etapas fenológicas de plántula + planta reflejarán más producción por planta en los tratamientos a dosis de P-CA $200 \text{ mg} \cdot \text{litro}^{-1}$, P-Ca $100 \text{ mg} \cdot \text{litro}^{-1}$ + AB $1.00\text{E}-06$ molar y P-Ca $100 \text{ mg} \cdot \text{litro}^{-1}$ + AS $1.00\text{E}-06$ molar. Los incrementos en producción por la influencia de P-Ca obtenidos en este estudio (Figura 3), han sido previamente observados en otros cultivos. En manzana, cerezo, durazno y

peral se obtuvieron incrementos de un 20 % en rendimiento cuando se aplicó P-Ca en un espectro de 100 – 200 mg·litro⁻¹ (Rademacher, 2004). En tomate se reportó un aumento sustancial en rendimiento por planta cuando se aplicó P-Ca a dosis de 175 mg·litro⁻¹ (Herrera-Gómez, 2007). Se ha demostrado que P-Ca es un inhibidor de la síntesis de giberelinas A₁, A₄ y A₇, las cuales son biológicamente activas (Costa *et al.*, 2004). Este efecto resulta en una reducción en el crecimiento vegetativo en la planta, lo que estimula un cambio en la traslocación de asimilados y un aumento en la formación de yemas florales y por lo tanto en mas frutos por planta (Basak, 2004; Ramírez *et al.*, 2006). Los aumentos en rendimiento observados en la Figura 3, contribuyen a sustentar esas experiencias. Las aplicaciones de AB y AS en diversas hortalizas como repollo, brócoli, rabanito, lechuga y coliflor provocan aumentos significativos en los rendimientos de esas especies (Benavides, 2002; Rancaño-Arriola, 2005). Efectos similares también han sido encontrados en trigo y en soya (López-Tejeda *et al.*, 1998). Los efectos de AB y AS han sido interpretados como promotores de oxidación, los cuales inducen en la planta a un incremento en los niveles de antioxidantes y estimulo en el sistema de formación de órganos florales y vegetativos (Benavides-Mendoza, 2007; Rancaño-Arriola, 2005). Por lo tanto, los incrementos encontrados como resultado de las aplicaciones de P-Ca, AB y AS en capsaicina (Figura 1), vitamina C (Figura 2) y en rendimiento (Figura 3) permite considerar que estos biorreguladores influyen en los parámetros referidos dependiendo de la fase de aplicación, concentraciones y combinación como la han propuesto Ramírez *et al.*, (2006).

CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos se concluye lo siguiente: prohexadiona de calcio, ácido benzoico y ácido salicílico aumentan sustancialmente el contenido de capsaicina, vitamina C y rendimiento en chile jalapeño var. M. El nivel de aumento en esos parámetros, está relacionado con la etapa de aplicación, dosis del biorregulador y combinación entre ellos.

LITERATURA CITADA

- ASAMI, K.D; HONG, Y.J.; BARRETT, D.M.; MITCHEL, A.E. 2003. Comparison of the total phenolic and ascorbic acid content of freeze-dried and air-dried marionberry, strawberry, and corn grow using conventional, organic, and sustainable agricultural practices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51: 1237-1241.
- BASAK, A., 2004. Growth and fruiting of "elstar" apple tress in response to prohexadiona calcium depending on the rootstock. *Acta Horticulturae* 653:117-126.

- BENAVIDES-MENDOZA, A.; SALASAR-TORRES, A. M.; RAMIREZ-GODINA, F.; ROBLEDO-TORRES, V.; RAMIREZ-RODRIGUEZ, H.; MAITI, R. 2004. Tratamiento de semilla de chile con ácidos salicílico y sulfosalicílico y respuesta de las plántulas al frío. *Terra Latinoamericana* 22(1):41-47.
- BENAVIDES-MENDOZA, A.; BURGOS-LIMÓN, D.; ORTEGA-ORTIZ, H.; RAMÍREZ, H. 2007. El ácido benzoico y poliácido acrílico-quitosán en la calidad y el rendimiento del tomate cultivado en suelo calcáreo. *Terra Latinoamericana* 25(3):1-8.
- BENAVIDES, M. A. 2002. *Ecofisiología y Bioquímica del Estrés de las Plantas*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 195 p.
- BENNET, D.J.; KIRBY, G.W. 1968. Constitution and biosynthesis of capsaicin. *J. Chem.. Soc. C.*, 442-446.
- COSTA, G.; SABATINI, E.; SPINELLI, F.; ANDREOTTI, C.; BOMBEN, C.; VIZZOTTO, G. 2004. Two years of application of prohexadione-ca on apple: Effect on vegetative and cropping performance, fruit quality, return bloom and residual effect. *Acta Horticulturae* 653: 35-40.
- 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> (21 de agosto de 2008).

- 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 of Physicians of India* 52: 794-804.
- DÍAZ, J.; POMAR, F.; BERNAL, A.; MERINO, F.; 2004. Peroxidases and the metabolism of capsaicin in *Capsicum annuum* L. *Phytochemistry Reviews* (3):141-157.
- HERRERA-GÁMEZ, B. 2007. Prohexadiona-Ca modifica parámetros hortícolas, actividad enzimática y antioxidantes totales en tomate y chile pimiento. Tesis de maestría en ciencias en ingeniería de sistemas de producción. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 92 p.
- JOHNSTON, C.S. 2003. Vitamina C. pp 191-200. *In: Conocimientos Actuales Sobre Nutrición*. BOWMAN, B.A.; RUSSELL, R.M. (Eds).. Editor. OPS. Octava edición. Washington DC USA.
- JOSHIPURA, K.J.; ASCHERIO, A.; MANSON, J.E.; STAMPFER, M.J.; RIMM, E.B.; SPEIZER, F.E.; HENNEKENS, C.H.; SPIEGELMAN, D.; WILLET, W.C. 1999. Fruit and vegetable intake in relation to risk of ischemic stroke. *Journal of the American Medical Association* 282: 1233-1239.
- KALT, W.; KUSHAD, M. M. 2000. The role of oxidative stress and antioxidants in plants and human health: introduction to the colloquium. *HortScience* 35: 572.

- LAING, W.A.; WRIGHT, M.A.; COONEY, J.; BULLEY, S.M. 2007. The missing step of the L-galactose guanyltransferase, increases leaf ascorbate content. PNAS 104 (22): 9534-95392.
- LÓPEZ-RIQUELME, G.O. 2003. Chilli "la especia del nuevo mundo". Ciencia 69: 66-75.
- LÓPEZ-DELGADO, H.; DAT, J.F.; FOYER, C.H.; SCOTT, I.M. 1998. Induction of thermotolerance in potato microplants by acetylsalicylic acid and H²O₂. J. Exp. Bot. 49(321):713-720.
- LÓPEZ-TEJEDA, R.; CAMACHO-RODRÍGUEZ, V.; GUTIÉRREZ-CORONADO, M.A. 1998. Aplicación de ácido salicílico para incrementar el rendimiento agronómico en tres variedades de trigo. Terra 16:43-48.
- MORA-HERRERA, M.E.; LÓPEZ-DELGADO, H. 2006. Tolerancia a baja temperatura inducida por ácidos salicílico y peróxido de hidrogeno en microplantas de papa. Fitotec. Mex. 29(2):81-85.
- MORI, A.; LEHMANN, S.; O'KELLY, J.; KUMNGAI, T.; DESMOND, J.C.; PERVAN, M.; McBRIDE, W.H.; KIZAKI, M.; KOEFFLER, H.P. 2006. Capsaicin, a component of red pepper, inhibits the growth of androgen-independent, p 53 mutant prostate cancer cells. Cancer Res. 66:3222-3229.
- MOZAFAR, A. 1994. Plant vitamins: agronomic, physiological and nutritional aspects. CRC Press. Boca Raton, Fl. 412 p.

- NUEZ, V.F.; GIL, O.R.; COSTA, G.J. 1996, El Cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Ed. Mundi-Prensa, España. 607p.
- PADAYATT, S.J.; DARUWALA, R.; WANG, Y.; ECK, P.K.; SONG, J.; KOH, W.S.; LEVINE, M.; 2001. Vitamin C: from molecular actions to optimum intake, pp 117-145. *In*: handbook of antioxidants. CADENZAS, E.; PACKER, I. (eds) second edition. CRC press. Washington DC. USA.
- PRIOR, R.L; CAO, G. 2000. Antioxidant phytochemicals in fruits and vegetables: Diet and health implications. *Hortscience* 35: 588-591.
- RADEMACHER, W. 2000. Growth retardants: Effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. *Annual Review of Plant Physiology and plant Molecular Biology* 51: 501-531.
- RADEMACHER, W. 2004. Chemical regulation of shoot growth in fruit trees *Acta Horticulturae* 653: 9-15.
- RANCAÑO-ARRIOJA, J.H. 2005. influencia de señalizadores del estrés en hortalizas y su relación con antioxidantes. Tesis de maestría en ciencias hortícolas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 42 p.
- RAMIREZ, H.; RANCAÑO-ARRIOJA, J.H.; BENAVIDES-MENDOZA, A.; MENDOZA-VILLAREAL, R.; PADRON-CORRAL, E. 2006. Influencia de promotores de oxidación controlada en hortalizas y su relación con antioxidantes. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 12(2): 189-195.

- RAMÍREZ, H. 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.
- RASKIN, I. 1992. Role of salicylic acid in plants. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. 43:439-463.
- ROEMMELT, S.; ZIMMERMANN, N.; RADEMACHER, W.; TREUTTER, D. 2003. Formation of novel flavonoides in apple (*Malus x domestica*) treated with the 2-oxoglutarate-dependent dioxygenase inhibitor prohexadione-Ca. Phytochemistry 64: 709-716.
- RODRIGUEZ, P.J.M.; MENDEZ, L.J.R.; TRUJILLO, Y. 2001. Radicales libres en la biomedicina y el estrés oxidativo. Revista Cubana de Medicina Militar 30: 36-44.
- ROSA, A.; DEIANA, M.; CASU, V.; PACCAGNINI, S.; APPENDINO, G.; BALLERO, M.; ASSUNTA, D.M. 2002. Antioxidant activity of capsinoids. J. Agri. Food Chem. (50): 7396-7401.
- SAS, Institute. 2000. SAS/STAT. User's Guide. Release 9.1.3 ed. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina.
- SIGMAPLOT, (2008) Sigmaplot 2008 V.11.0. Systat Software Inc., Point Richmond, Calif.
- TOSUN, I.; USTUN, N.S. 2003. An investigation about antioxidant capacity of fruit nectars. Pakistan Journal of Nutrition 2: 167-169.

VAZQUEZ-FLOTA, F.; MIRANDA-HAM, M.; MONFORTE-GONZALEZ, M.;
GUTIERREZ-CARBAJAL, G.; VELAZQUEZ-GARCIA, C.; NIETO-
PELAYO, Y. 2007. Biosíntesis de capsaicinoides, el principio picante
del chile. *Fitotec. Mex.* 30 (4) 353-360

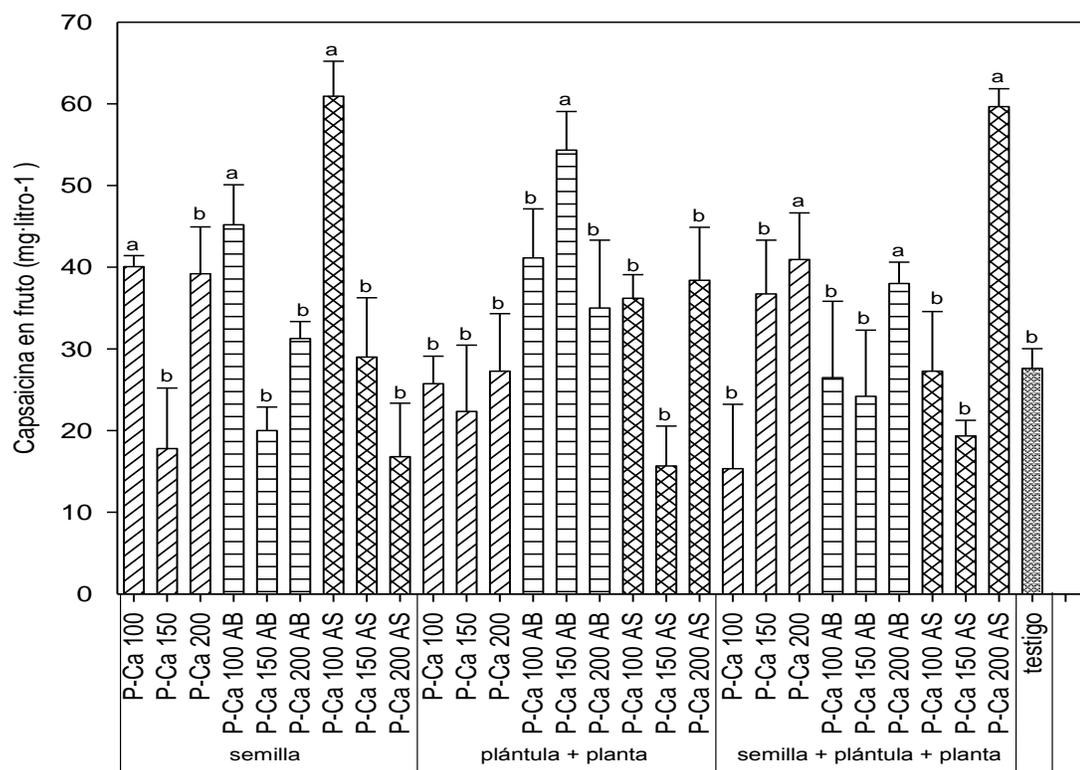


FIGURA 1. Influencia de prohexadiona de calcio (P-Ca) a diferentes dosis, ácido salicílico (AS) y ácido benzoico (AB) a concentración de 1.00E-06 molar en el contenido de capsaicina en frutos de chile jalapeño var. M. Cada barra representa la media de tres repeticiones. Letras iguales significan igualdad de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

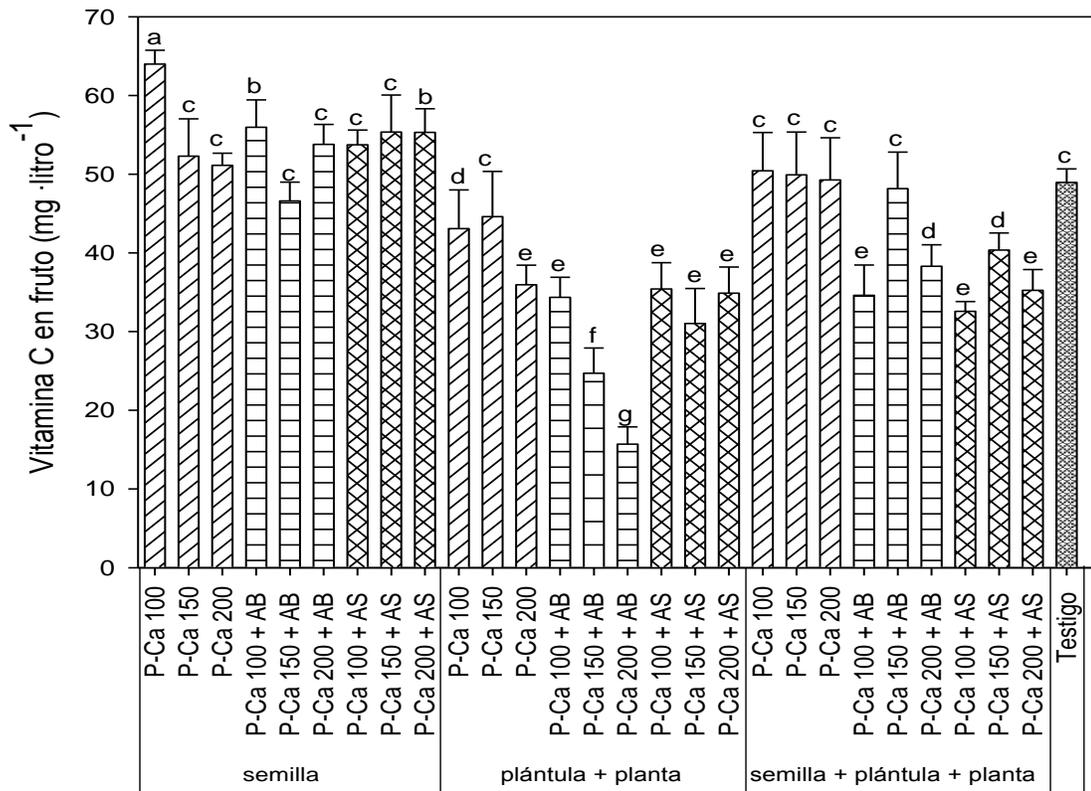


FIGURA 2. Influencia de prohexadiona de calcio (P-Ca) a diferentes dosis, ácido salicílico (AS) y ácido benzoico (AB) a concentración de $1.00E-06$ molar en el contenido de vitamina C en frutos de chile jalapeño var. M. Cada barra representa la media de tres repeticiones. Letras iguales significan igualdad de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

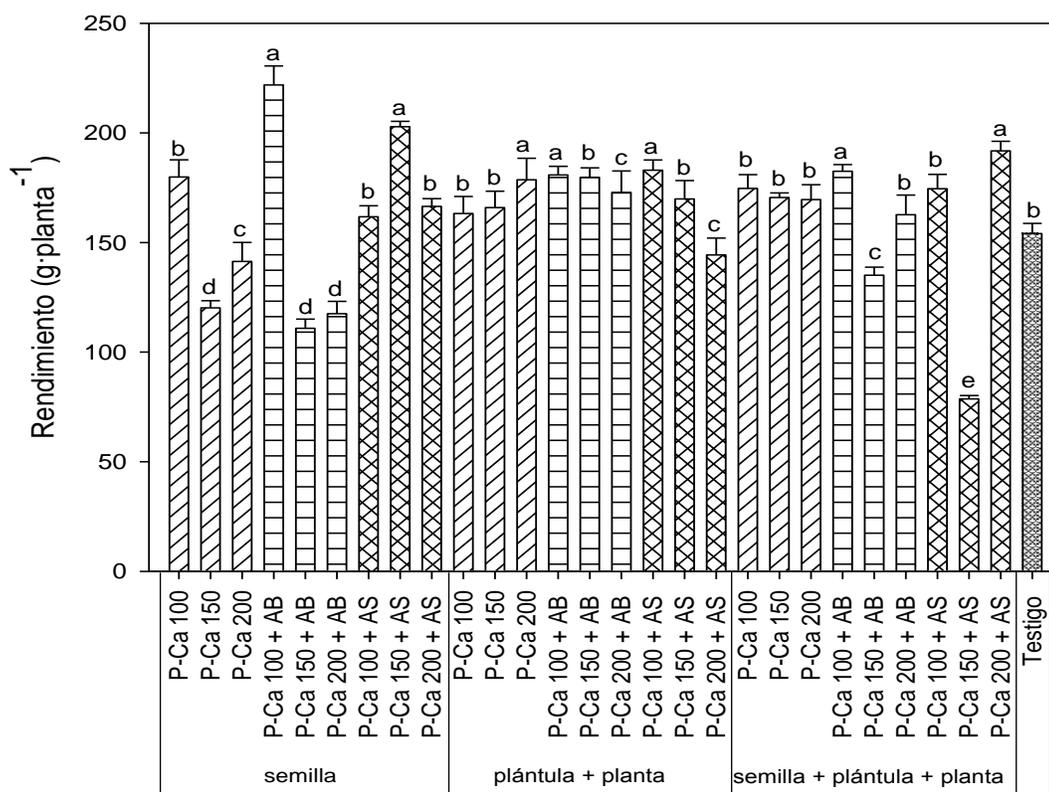


FIGURA 3. Influencia de prohexadiona de calcio (P-Ca) a diferentes dosis, ácido salicílico (AS) y ácido benzoico (AB) a concentración de $1.00E-06$ molar en el rendimiento por planta en chile jalapeño var. M. Cada barra representa la media de tres repeticiones. Letras iguales significan de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos se concluye que prohexadiona de calcio, ácido benzoico y ácido salicílico aplicados al chile jalapeño var. M provocan una aumento notable en el contenido de capsaicina, vitamina C y rendimiento. Estos parámetros, se relacionan con la etapa de aplicación, dosis y su combinación.

LITERATURA CITADA

- BENAVIDES, M. A. 2002. Ecofisiología y Bioquímica del Estrés de las Plantas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 195 p.
- BENNET, D.J.; KIRBY, G.W. 1968 Constitution and biosynthesis of capsaicin J. Chem. Soc. C. C 442-446.
- COSTA, G.; SABATINI, E.; SPINELLI, F.; ANDREOTTI, C.; BOMBEN, C.; VIZZOTTO, G. 2004. Two years of application of prohexadione-ca on apple: Effect on vegetative and cropping performance, fruit quality, return bloom and residual effect. Acta Horticulturae 653: 35-40.
- DAT, J.F.H.; FOYER, C.H.; SCOTT, I.M. 1998. Changes in salicylic acid and antioxidants during induced thermotolerance in mustard seedlings. Plant. Physiol. 118:1455-1461.
- DECOTEAU, D.R.; GRAHAM. H.A.H.; 1994, Plant spatial arrangement effects growth, yield and distribution of cayenne pepper., HorScience 29 (3): 149-151.
- DEEPA, N.; KAUR, C.; SINGH, B.; KAPOOR, H.C. 2006. Antioxidant activity in red sweet pepper cultivar. Journal of Food Composition and Analysis. 19:572-578.

- DÍAZ, J.; POMAR, F.; BERNAL, A.; MERINO, F. 2004, Peroxidases and the metabolism of capsaicin in *Capsicum annuum* L. *Phytochemistry Reviews* 3:141-157.
- 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> (21 de agosto de 2008).
- 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 of Physicians of India* 52: 794-804.
- ESTRADA, B.; BERNAL, M.A.; POMAR, F. MERINO, F. 2001. Identification and quantification of some capsaicinoids in pardon pepper (*Capsicum annuum* L. var. *annuum*) fruits. *Acta. Alimentaria*. 30(4): 373-380.
- 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.
- FOYER, C. 1993. Ascorbic acid. pp. 31-58. *In: Antioxidants in Higher Plants*. Alscher, R.G.; Hess, J.L. (Eds.). Ed. CRC Press, Inc. Boca Raton. USA.
- FUENTES-LARA, L.O.; FLORES-VERASTEGUI, M.I.M.; BENAVIDES-MENDOZA, A.; RAMÍREZ, H.; ORTEGA-ORTIZ, H.; HERNÁNDEZ-DÁVILA, J.; ROBLEDO-TORRES, V.; 2004. Comportamiento poscosecha de tomate al aplicar

inductores de tolerancia. *In* Resultados de Investigación 2003. (Eds) UAAAN. ISBN 968-844-032-9

GUTIÉRREZ-CORONADO, M.A.; TREJO-LOPEZ, C.; LARQUÉ-SAAVEDRA, A. 1998.

Effects of salicylic acid on the growth of roots and shoots in soybean. *Plant Physiol. Biochem.* 36:563-565.

HALLIWELL, B. 2001. Food-derived antioxidants: how to evaluate their importance in

food and in vivo, pp1-41: *In* Handbook of antioxidants. (Eds) CADENZAS, E.; PACKER, I. (eds) second edition. Washington. CRC press.

HERRERA-GÁMEZ, B. 2007. Prohexadiona-Ca modifica parámetros hortícolas,

actividad enzimática y antioxidantes totales en tomate y chile pimiento. Tesis de maestría en ciencias en ingeniería de sistemas de producción. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 92 p.

JANKIEWICZ, L. 2003. Reguladores del crecimiento, desarrollo y resistencia en

plantas. Tomo I. Propiedades y acción. Ediciones Mundi Prensa. México. 487 pp.

JIMÉNEZ, A.; CREISSEN, G.; KULAR, B.; FIRMIN, J.; ROBINSON, S.; VERHOEYEN,

M.; MULLINEAUX, P. 2002. Changes in oxidative processes and components of the antioxidant system during tomato fruit ripening. *Planta* 214: 751-718.

JOHNSTON, C.S. 2003. Vitamina C. pp 191-200. *In*: Conocimientos actuales sobre

nutrición. BOWMAN, B.A.; RUSSELL, R.M. (Eds). 8 ed. Washington DC. Ed. OPS.

- JURENTISH, J.; KUBELKA, W.; JENTZSCH, K. 1979. Identification of cultivated taxa of capsicum. taxonomy, anatomy and composition of pungent principle. *Plant Med.* 35, 174-179.
- KALT, W; KUSHAD, M.M. 2000. The Role of Oxidative Stress and Antioxidants in Plants and Human Health: Introduction to the Colloquium. *HortScience* 35: 572.
- KOBATA, K.; SUTOH, K.; TODO, T.; YAZAWA, S.; IWAI, K.; WATANABE, T.; 1999. Nordihydrocapsiate, a new capsinoid from the fruits of a nonpungent pepper, *Capsicum annuum*. *J. Nat. Prod.* 62: 335–336
- KOUZOU, S.; KOBATA, K.; YAZAWA, S.; WATANABE, T. 2006. Capsinoid is biosynthesized from phenylalanine and valine in a non-pungent pepper, *capsicum annuum* L. cv. CH-19 Sweet. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 70(6): 1513-1516.
- LÓPEZ-RIQUELME, G.O. 2003. Chilli “la especia del nuevo mundo”. *Ciencia* 69: 66-75.
- LÓPEZ-DELGADO, H.; DAT, J.F.; FOYER, C.H.; SCOTT, I.M. 1998. Induction of thermotolerance in potato microplants by acetylsalicylic acid and H₂O₂. *J. Exp. BOT.* 49(321):713-720.
- LEETE, E.; LOUDEN, M.C.L. 1968. Biosynthesis of capsain and dihydrocapsaicin in *Capsicum frutescens*. *J. Am. Chem. Soc.* 90:6837-6841.
- MITTLER, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *TRENDS in Plant Science.* 7(9): 405-410.

- MORA-HERRERA, M.E.; LÓPEZ-DELGADO, H. 2006. Tolerancia a baja temperatura inducida por ácidos salicílico y peróxido de hidrogeno en microplantas de papa. *Fitotec. Mex.* 29(2):81-85.
- MORI, A.; LEHMANN, S.; O'KELLY, J.; KUMNGAI, T.; DESMOND, J.C.; PERVAN, M.; McBRIDE W.H.; KIZAKI, M.; KOEFFLER, H.P.; 2006. Capsaicin, a component of red pepper, inhibits the growth of androgen-independent, p 53 mutant prostate cancer cells. *Cancer res.* 66:3222-3229.
- MOTSENBOCKER, C.E. 1996, In-row plant spacing affects growth and yield of pepperoncini pepper, *HorScience* 31 (2): 198-200.
- NUEZ, V.F.; GIL, O.R.; COSTA, G.J. 1996. El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Edit. Mundi-Prensa, España. 607p.
- 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.D. 1999. Vegetative growth and flowering of young apple trees in response to prohexadione-calcium. *HortScience*, Vol. 34(7):1194–1196.
- PADAYATT, S.J.; DARUWALA, R.; WANG, Y.; ECK, P.K.; SONG, J.; KOH, W.S.; LEVINE, M.; 2001. Vitamin C: from molecular actions to optimum intake, pp 117-

145. *In*: Handbook of antioxidants. CADENZAS, E.; PACKER, I. (eds) second edition. Washington. CRC press.
- PERUKA, I.; MATERSKA, M.; 2007. Antioxidant vitamin contents of capsicum annum fruit extracts as affected by processing and varietal factors. *Act.Sci.Pol., Technol. Aliment.* 6(4):67-74.
- PRIOR, R.L; CAO, G. 2000. Antioxidant phytochemicals in fruits and vegetables: Diet and health implications. *Hortscience* 35: 588-591.
- 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.* Saltillo, Coahuila. Mexico.
- RAMÍREZ, H.; PERALTA-MANJAREZ, R.M.; BENAVIDES-MENDOZA, A.; SÁNCHEZ-LÓPEZ, A.; ROBLEDO-TORRES, V.; HERNÁNDEZ-DÁVILA, 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.

- RANCAÑO-ARRIOJA, J.H. 2005. influencia de señalizadores del estrés en hortalizas y su relación con antioxidantes. Tesis de maestría en ciencias hortícolas. Universidad autónoma agraria Antonio narro. 42 p.
- RASKIN, I. 1992 Role of salicylic acid in plants. Annu. Rev. Plant physiol. Plant Mol. 43:439-463.
- ROEMMELT, S.; ZIMMERMANN, N.; RADEMACHER, W.; TREUTTER, D. 2003. Formation of novel flavonoides in apple (*Malus x domestica*) treated with the 2-oxoglutarate-dependent dioxygenase inhibitor prohexadione-Ca. Phytochemistry 64: 709-716.
- ROJAS, G.M.; RAMÍREZ, R.H. 1993. Control hormonal del desarrollo de las plantas. Editorial Limusa. México, D.F. pp 217-235.
- ROSA, A.; DEIANA, M.; CASU, V.; PACCAGNINI, S.; APPENDINO, G.; BALLERO, M.; ASSUNTA, M.D. 2002, antioxidant activity of capsinoids. J. Agri. Food chem. (50): 7396-7401.
- SALAZAR-OLIVO, L.A.; SILVA-ORTEGA, C.O. 2004. Efectos farmacológicos de la capsaicina, el principio pungente del chile. Biología Scripta1(1):7-14
- STOFFELLA, P.J.; BRYAN, H.H. 1998. Plant Population influences growth and yield of bell pepper., J. Amer. Soc. Hort. Sci., 113 (6): 835-839.
- SZALLASI, A.; BLUMBER, P.M. 1999. Vallinoid (capsaicin) receptor and mechanisms. Pharmacol Rev 51: 159-212.
- VÁZQUEZ-FLOTA, F.; MIRANDA-HAM, M.; MONFORTE-GONZALEZ, M.; GUTIÉRREZ-CARBAJAL, G.; VELAZQUEZ-GARCIA, C.; NIETO-PELAYO, Y.

2007. Biosíntesis de capsaicinoides, el principio picante del chile. Fitotec. Mex.
30 (4) 353-360

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

YÁÑEZ, R.J.N. 2002. Nutrición y regulación del crecimiento en hortalizas y frutales.
Watts. Saltillo, Coahuila. pp. 40-42.