

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO



LA PROHEXADIONA DE CALCIO (P-Ca): UNA ALTERNATIVA HORMONAL
VIABLE EN CHILE HABANERO

Tesis


Que presenta JOAQUIN MENDOZA CASTELLANOS

como requisito parcial para obtener el Grado de:
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA


La Prohexadiona de Calcio (P-Ca): Una Alternativa Hormonal Viable en Chile
Habanero

Tesis

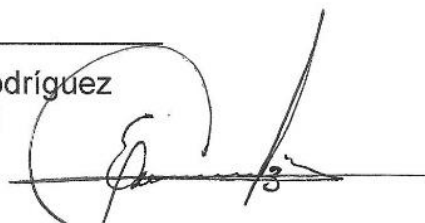
Elaborada por JOAQUIN MENDOZA CASTELLANOS como requisito parcial
para obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA con la
supervisión y aprobación del Comité de Asesoría



Dr. Homero Ramírez Rodríguez
Asesor Principal



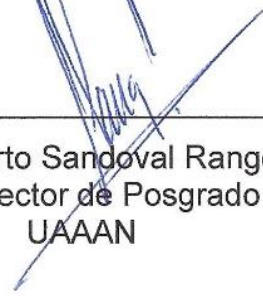
Dr. Marcelino Cabrera de la Fuente
Asesor



Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo
Asesor



Dr. Alejandro Zermeño González
Asesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Subdirector de Posgrado
UAAAN

Agradecimientos

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACYT) y a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro mi “Alma Terra Mater” por su apoyo para la realización de esta investigación no hubiera sido posible llevar a cabo este bonito sueño profesional.

Agradezco a aquellas grandes personas que hacen posible el conocimiento en las aulas, los excelentes profesores del programa de maestría. A mis compañeros de la generación, por todos los buenos y malos momentos que viví con ellos. A todos los que alguna vez han compartido sus conocimientos para enriquecernos todos.

Finalmente, agradezco a mi familia por su comprensión, comunicación constante y apoyo.

Dedicatorias

Esta tesis se la dedico a Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy. Para mis padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mis hermanas por estar siempre presentes, acompañándome para poderme realizar.

A mis maestros quienes nunca desistieron al enseñarme, aun sin importar que muchas veces no ponía atención en clase, a ellos que continuaron depositando su esperanza en mí.

“La dicha de la vida consiste en tener siempre algo que hacer, alguien a quien amar y alguna cosa que esperar”.

Índice General

Agradecimientos	iii
Dedicatorias	iv
Resumen	viii
Abstract.....	x
Introducción	1
Objetivo.....	2
Hipótesis	2
Revisión de Literatura	3
Generalidades del cultivo de chile habanero	3
Bioreguladores.....	4
Retardantes de crecimiento.....	4
Prohexadiona de calcio	4
Metabolismo	5
Absorción y translocación.....	5
Antioxidantes	5
Capsaicina.....	6
Carotenoides	7
Vitamina C	8
Materiales y Métodos.....	10
Evaluación hortícola	10
Determinación de antioxidantes.....	11
Resultados y Discusión.....	13
Crecimiento de tallo	13
Floración, frutos y rendimiento.....	15
Capsaicina.....	18
Carotenoides totales.....	19
Vitamina C	20
Conclusiones	22
Referencias.....	23

Lista de Figuras

Figura 1. Efecto de prohexadiona de calcio sobre la tasa de crecimiento en altura del tallo en chile habanero var. Jaguar. Cada punto representa el promedio de nueve repeticiones	14
Figura 2. Efecto de prohexadiona de calcio sobre la tasa de crecimiento del diámetro del tallo en chile habanero var. Jaguar. Cada punto representa el promedio de nueve repeticiones.....	15
Figura 3. Efecto de prohexadiona de calcio sobre número de flores y frutos en chile habanero var. Jaguar.	16
Figura 4. Efecto de prohexadiona de calcio sobre los niveles de capsaicina en chile habanero var. Jaguar	18
Figura 5. Efecto de prohexadiona de calcio sobre el contenido de carotenoides totales en frutos de chile habanero var. Jaguar..	19
Figura 6. Efecto de prohexadiona de calcio sobre el contenido de vitamina C en frutos de chile habanero cv. Jaguar.	21

Lista de Cuadros

Cuadro 1. Efecto de P-Ca sobre la longitud de fruto y rendimiento en chile habanero var. Jaguar.....	17
---	----

Resumen

**LA PROHEXADIONA DE CALCIO (P-Ca): UNA ALTERNATIVA HORMONAL
VIABLE EN CHILE HABANERO**

POR

JOAQUIN MENDOZA CASTELLANOS

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

DR. HOMERO RAMÍREZ RODRÍGUEZ -ASESOR-

Saltillo, Coahuila. Diciembre del 2015

La superficie sembrada con habanero en México aumentó en años recientes. La demanda de esta hortaliza a nivel mundial exige la aplicación de nuevas técnicas que permitan mejorar su rendimiento y calidad. Una opción es el uso de bioreguladores. El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto del retardante prohexadiona de calcio (P-Ca) sobre el desarrollo vegetativo, rendimiento y niveles de antioxidantes en chile habanero variedad Jaguar. El experimento se estableció bajo un arreglo completamente al azar con 3 repeticiones por tratamiento durante el año 2014 en la UAAAN en Saltillo, Coahuila, en condiciones de invernadero. Las concentraciones de P-Ca fueron: 0 (testigo agua), 50, 100 y 150 mg L⁻¹ en una y dos aplicaciones. La primera se realizó cuando las plantas mostraron el primer primordio floral y 15 días después se realizó la segunda. Los resultados indican que P-Ca redujo hasta un 52% y 30.5% en la altura y diámetro del tallo respectivamente. La mayoría de los tratamientos con P-Ca aumentaron el número de flores, frutos por planta y rendimiento; y contenido de antioxidantes en frutos maduros. P-Ca a 150 mg L⁻¹ fue el tratamiento que provocó el mayor contenido de capsaicina, carotenos totales y vitamina C en los frutos. Se considera que P-Ca tiene potencial para utilizarse como alternativa para mejorar el rendimiento y calidad del chile habanero.

Palabras clave adicionales: *Capsicum chinense* Jacq, Capsaicina, Carotenoides totales, Rendimiento, Vitamina C.

Abstract

**PROHEXADIONE-Ca: A VIABLE HORMONE ALTERNATIVE IN HABANERO
PEPPER**

BY

JOAQUIN MENDOZA CASTELLANOS

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

DR. HOMERO RAMÍREZ RODRÍGUEZ -ADVISOR-

Saltillo, Coahuila. December 2015

The habanero pepper cultivation in Mexico has grown in recent years. Its high globally demand now days, requires the application of new techniques to improve yield and quality. One option is the use of bioregulators. The objective in this research was to evaluate the effect of the growth retardant prohexadione calcium (P-Ca) on vegetative growth, yield and antioxidant levels in habanero variety Jaguar. The experiment was established in 2014 in UAAAN in Saltillo, Coahuila, under greenhouse conditions, using a complete randomized experimental design with three replicates per treatment. Treatments of P-Ca were: 0 (water control), 50, 100 and 150 mg L⁻¹ in 1 and 2 applications. The first, conducted when plants have reached the first floral primordium and 15 days after the second one. The results showed that P-Ca decreased 52% and 30.5% the height and stem diameter respectively. Most of P-Ca treatments increased the number of flowers, fruits per plant and yield; and the content of antioxidants in ripen fruits. P-Ca at 150 mg L⁻¹ caused the highest content of capsaicin, total carotens and vitamin C in fruits. It is considered that P-Ca has a potential as an alternative to improve the yield and quality of habanero pepper.

Keywords: *Capsicum chinense* Jacq, Capsaicin, total carotenoids, Vitamin C, Yield

Introducción

México es el país con la mayor diversidad genética del Chile (*Capsicum*), sin embargo, no es el productor mundial más importante (AMSDA 2012); aporta el 53.6 % de la producción del continente americano y se ubica como el mayor productor de esta región. Los principales estados productores de chile habanero en México son: Yucatán, Campeche, Tabasco y Quintana Roo (Flores *et al* 2008). Es el chile con mayor pungencia del genero *Capsicum* y por lo tanto con mayores cantidades de capsaicina, razón por la cual, industrias como la farmacéutica, cosméticos y de alimentos están interesados en este producto (Pérez, 2012). Por lo cual, es importante la disminución de los efectos bióticos y abióticos en el cultivo, que han generado grandes pérdidas económicas a los productores. Una alternativa para ello es el uso de bioreguladores, que permitan disminuir problemas fisiológicos y que favorezcan el aumenten de producto y calidad como los antioxidantes en el fruto. En años recientes el uso de biorreguladores y promotores de oxidación en tomate, brócoli y repollo han mostrado ser una alternativa para mejorar su producción y la calidad del producto cosechado (Ramírez *et al.*, 2009). Prohexadiona de Ca (P-Ca), es un retardante del crecimiento propuesto como una alternativa prometedora en la horticultura moderna, principalmente para mejorar la producción y calidad del producto cosechado (Ramírez *et al.*, 2010a). Delgado *et al.* (2010) mencionan que el estilo de vida actual puede promover inadecuados hábitos alimenticios, consumiendo alimentos de baja calidad nutricional y capacidad antioxidante. Esto ha causado graves problemas de salud en nuestra sociedad como la desnutrición y obesidades así como el aumento de diversas enfermedades crónico degenerativas, como consecuencia del estrés oxidativo. Los chiles (*Capsicum sp.*) son conocidos por su riqueza en micronutrientes y compuestos bioactivos (compuestos fenólicos), por lo que su consumo ha sido claramente reconocido como factor importante para la buena salud (Rodríguez *et al.*, 2012).

El chile *Capsicum chinense* Jacq posee estas cualidades excelentes en compuestos fitoquímicos que son necesarios en la dieta humana ya que eliminan los radicales libres producidos por el cuerpo y son nocivos para la salud ya que indirectamente generan enfermedades cancerígenas. Los antioxidantes son sustancias químicas que se caracterizan por impedir o retrasar la oxidación de diversas sustancias principalmente de los ácidos grasos cuyas reacciones se producen tanto en los alimentos como en el organismo humano, en el cual puede provocar alteraciones fisiológicas importantes desencadenantes de diversas enfermedades. Se ha documentado científicamente en muchos casos que los antioxidantes son potenciadores de la salud y que su utilización supone entre otras cosas la prevención de enfermedades crónicas y no transmisibles como algunos tipos de cáncer y enfermedades cardiovasculares entre otras, de ahí la importancia del consumo de alimentos con un alto contenido de sustancias antioxidantes como las frutas y vegetales (Zamora, 2007). En base a lo anterior, es objetivo de esta investigación el evaluar los efectos de P-Ca en chile habanero variedad Jaguar y considerarlo como una alternativa viable en el sistema de producción en esta importante especie hortícola.

Objetivo

Evaluar prohexadiona de calcio sobre el fenotipo, rendimiento y calidad antioxidante del fruto en Chile Habanero.

Generar una tecnología para el uso de Prohexadiona de Ca en la producción de chile habanero.

Hipótesis

Prohexadiona de calcio modifica el fenotipo de la planta y la calidad de fruto en chile habanero variedad Jaguar.

Revisión de Literatura

Generalidades del cultivo de chile habanero

El género *Capsicum* (Familia: *Solanaceae*) contiene cinco especies comúnmente cultivadas (*C. annuum* L., *C. frutescens* L., *C. chinense* Jacq, *C. baccatum* L. y *C. pubescens* Ruiz & Pav. (Antonious, and Jarret., 2006). El chile habanero (*C. chinense* Jacq) es considerado el más picante, la variedad jaguar presenta plantas que crecen a una altura de 80 a 90 cm en campo y hasta 1.80 cm de altura en sistemas de agricultura protegida, con una copa que puede ser 75 a 120 cm. El follaje es glabro, carece de pubescencias, las hojas son grandes con una longitud de 6.5 a 10.5 cm y de 3.0 a 4.2 cm de ancho en su parte más ancha. La ramificación es de tipo basal escalonada, con cinco a siete ramas primarias, que se multiplican en abundantes ramas secundarias. Tiene flores de color blanco, con estigma inserto o abajo del nivel de las anteras, tiene de una a tres flores por nudo, lo cual pueden dar origen a la misma cantidad de frutos y presenta floración continua. Inicia su floración entre los 70 y 85 días después de la siembra y su cosecha se inicia a los 115 a 120 días, los frutos son uniformes de color verde esmeralda en estado verde sazón, que pasan a anaranjado en madurez total. El periodo de cosecha de la variedad Jaguar puede durar de tres a siete meses a campo abierto, y más de dos años en condiciones de agricultura protegida. La variedad alcanza hasta 15 toneladas por hectárea en zonas productoras con buen temporal (centro-sur de Veracruz, Campeche, Chiapas), o en diferentes sistemas de producción con riego y tecnología media a alta; sin embargo, expresa mejor su potencial de rendimiento bajo sistemas de riego por goteo y fertirrigación, donde supera las 30 toneladas por hectárea de producción total a campo abierto, y más de 36 toneladas por hectárea (t·ha) bajo condiciones de agricultura protegida (Ramírez *et al.*, 2012)

Bioreguladores

Los bioreguladores son sustancias que controlan el crecimiento vegetal (García *et al.*, 2006; Pimienta *et al.*, 2006; Ortega, 2000). Estas hormonas promueven, inhiben o modifican procesos morfológicos y fisiológicos de las plantas cuando son aplicados en pequeñas concentraciones (Cuesta y Mondaca, 2014). Se conocen cinco tipos principales de biorreguladores: las auxinas, las citocininas, el etileno, el ácido abscísico y las giberelinas (Curtis y Schnek, 2008). Ofrecen una magnífica oportunidad para mejorar los sistemas de producción hortícolas. El uso de estas sustancias tiene la ventaja de producir efectos que no son permanentes y por lo tanto, de ser modificados de acuerdo a las necesidades del horticultor (Ramírez, 2003).

Retardantes de crecimiento

Los retardadores del crecimiento vegetal son compuestos que se utilizan para reducir la longitud de brotes de las plantas en una forma deseada sin cambiar los patrones de desarrollo o ser fitotóxico. Esto se logra principalmente mediante la reducción de la elongación celular, también por la reducción de la tasa de división celular. Su efecto sobre la estructura morfológica de las plantas, son antagónicas a las giberelinas y auxinas, responsables de elongación de los brotes (Rademacher, 2000; Ramírez *et al.*, 2010b).

Prohexadiona de calcio

Prohexadiona de calcio (3-oxido-4-propionil-5-oxo-3-ciclohexano-carboxilato) inhibe la biosíntesis de giberelinas activas de crecimiento, lo que reduce el crecimiento longitudinal de brotes. La estructura de prohexadiona es similar a la del ácido 2-oxoglutámico, que es el co-sustrato para dioxigenasas que catalizan hidroxilaciones implicadas en las etapas tardías de la biosíntesis de GA. La prohexadiona-calcio inactiva la enzima GA₃-β-hidroxilasa y reduce los niveles de la giberelina A₁ provocando la acumulación de su precursor inmediato, GA₂₀ (Brown *et al.*, 1997; Evans *et al.*, 1999), Tiene un efecto en la reducción de crecimiento vegetativo en la planta, lo que estimula un cambio en la

translocación de asimilados y un aumento en la formación de yemas florales y por lo tanto en más frutos por planta (Ramírez *et al.*, 2009). El uso de prohexadiona de calcio (P-Ca) en frutales aumenta los niveles de sólidos solubles, antocianinas y aromas en el producto cosechado; además de incrementar sustancialmente la capacidad antioxidante total. En tomate P-Ca aumenta la concentración de licopeno en frutos y en meristemas apicales reduce los niveles de giberelinas y aumentan los de citocininas (Ramírez *et al.*, 2010b; Ramírez *et al.*, 2005). En chile jalapeño P-Ca incrementó los niveles de capsaicina y de rendimiento (Ramírez *et al.*, 2009).

Metabolismo

La prohexadiona de calcio se degrada en las plantas superiores con un tiempo de vida media de unas pocas semanas. Después de desacilación y la escisión del anillo se forma el propano-1,2,3-tricarboxílico ácido de origen natural (ácido tricarbálico), que se incorpora en la matriz de la planta. En el suelo, prohexadiona de calcio se descompone a dióxido de carbono, con una vida media de menos 7 días. En el agua, se degrada por fotólisis a dióxido de carbono y otros productos naturales. En los mamíferos, P-Ca se absorbe rápidamente y luego se excreta. No se ha observado una acumulación en los tejidos de ellos.

Absorción y translocación

La prohexadiona de calcio es absorbido por el área foliar en un promedio de 8 horas y es translocado acropetalmente a los puntos de crecimiento de brotes individuales. El movimiento basipétalo es mínimo. Este bioregulador no es persistente en las plantas y su efecto es inmediato en el crecimiento vegetativo (Evans *et al.*, 1999).

Antioxidantes

Los antioxidantes hoy en día se consumen como suplemento para prevenir las enfermedades humanas. De hecho, antioxidantes / radicales libres impregnan

toda la vida, creando el campo de la biología redox. La vida es un equilibrio entre radicales libres y antioxidantes; estos, sirven para mantener bajos los niveles de radicales libres, lo que les permite realizar funciones biológicas útiles sin demasiado daño. Sin embargo, algo de daño es inevitable, lo que requiere sistemas de reparación para mantener la viabilidad celular (Halliwell, 2006). El cuerpo humano produce antioxidantes pero los procesos no son 100% efectivos y por lo tanto, con frecuencia también ocurre una alta producción de radicales libres: considerando que la producción de antioxidantes van disminuyendo con la edad (Sen *et al.*; 2010). La evidencia epidemiológica sugiere que la ingesta de algunas vitaminas, minerales y otros componentes de los alimentos puede ayudar a proteger al ser humano contra enfermedades cardíacas, el cáncer y el proceso de envejecimiento, provocados por radicales libres y que los antioxidantes pueden tener un efecto protector, ya sea en la prevención de estas enfermedades o reducir la gravedad de las enfermedades después de su aparición. Muchas de sus actividades están mediadas por las especies reactivas de oxígeno (ROS) que se generan durante el estallido oxidativo (Prior y Cao, 2000). Wall *et al.* (2001) mencionan los beneficios de incluir en la dieta los frutos frescos o secos de chiles rojos, ya que producen un equilibrio con respecto a las vitaminas A, C, y E que contienen tres a cuatro veces más que frutos verdes. Estudios realizados por Zaki *et al.*, 2013 concluyen que el contenido total de fenólicos y carotenoides pueden servir como un indicador útil para la actividad antioxidante de Chile. La contribución de antioxidantes en Chile son numerosos y pueden incluir ácido ascórbico, flavonoides, capsaicinoides, y una amplia variedad de ácidos fenólicos (Howard *et al.*, 2000).

Capsaicina

El consumo del Chile se debe principalmente a su sabor picante, lo cual está relacionado con la concentración de cinco compuestos: capsaicina, nordihidrocapsaicina, dihidrocapsaicina, homocapsaicina y homodihidrocapsaicina; los cuales son clasificados como capsaicinoides (Antonious y Jarret., 2006, Antonious *et al.*, 2009; Karjewska, 1988), Vázquez-

Flota *et al.*, (2007) mencionan que existen 20 diferentes de estos compuestos en Chile. La capsaicina y la dihidrocapsaicina son los capsaicinoides dominantes detectados en Chile (Antonious y Jarret., 2006). La pungencia varía en el contenido de capsaicinoides en un rango de 42 a 66 mg·g en frutos secos (Pino *et al.*, 2007). La capsaicina es el más pungente de los capsaicinoides (Antonious y Jarret., 2006; Antonious *et al.*, 2009). La estructura química de su molécula consiste de un núcleo fenólico unido mediante un enlace amida a un ácido graso. La capsaicina [(E)-N-(4-hidroxi-3-metoxibencil)-8-metil-6-nonenamida] y su análogo 6,7-dihidro, dihidrocapsaicina, en conjunto llegan a representar más de 90 % del total de los capsaicinoides presentes en los frutos (Antonious y Jarret., 2006; Antonious *et al.*, 2009; Vázquez-Flota *et al.*, 2007). El contenido de capsaicinoides varía de acuerdo a la etapa de desarrollo del fruto y al ambiente en desarrollo, generalmente la concentración de capsaicinoides aumenta a medida que los chiles alcanzan la madurez, mientras que la concentración de fenoles disminuye (Menichini *et al.*, 2009). La concentración de capsaicinoides en *Capsicum chinense* Jacq., varía en los diferentes cultivares existentes (Antonious *et al.*, 2009) y en los colores de frutos. Pino *et al.* (2007) evaluaron 10 cultivares de Chile habanero, cuatro de color rojo, cinco de color naranja y uno de color café, encontrando que los frutos de color naranja tienen más concentración de capsaicinoides.

Carotenoides

Los carotenoides son los pigmentos más ampliamente distribuidos en la naturaleza y son responsables de los colores brillantes de las flores, frutos y semillas, que facilita la polinización de flores y esparcimiento de semillas (Bulda *et al.*, 2008). Estas sustancias son tetraterpenos, compuestos de 40 átomos de carbono, formalmente derivados del fitoeno. Pueden ser de dos clases: los carotenos, compuestos hidrocarbonados, y las xantofilas, derivados oxigenados de los carotenos (Sanchez *et al.*, 1999). Las principales funciones de los carotenoides son fotoprotección, absorber luz, estructura, y participación en procesos fotoquímicos en fotosistema I y fotosistema II (Bulda *et al.*, 2008);

participan en la desactivación de radicales libres que se producen durante el metabolismo normal de las células. Las cadenas poliénicas de los carotenoides son altamente reactivas y ricas en electrones y en presencia de oxidantes fácilmente forman radicales libres de vida corta. En microorganismos y plantas se ha demostrado que los carotenoides inactivan O_2 , radicales OH, peróxidos y otros oxidantes mediante un proceso en el que se transfiere la energía de alto nivel de excitación a un triplete del carotenoide (Sanchez *et al.*, 1999). Los colores amarillo, naranja y rojo en frutos de *Capsicum* son originados por los carotenoides producidos durante la maduración, los cuales tienen un inmenso valor nutricional como provitamina A y antioxidantes. Los β -carotenos son precursores de los pigmentos predominantes naranja y rojo en chiles. Los chiles con altas concentración de β -carotenos demostraron ser ricos en carotenoides totales (Wall *et al.*, 2001). Gregory *et al.* (1987) encontraron en pimientos 60% de capsantina, 20% capsorubina, 11% β -carotenos 3% luteína, y 6 % de compuestos no identificados. Los pigmentos capsantina, capsorubina y cryptocap se valoran sobre todo como colorantes naturales. Howard *et al.* (2000) reportaron que la concentración de β -criptoxantina, α -caroteno, β -caroteno, capsantina y zeaxantina aumenta ampliamente en los chiles durante la maduración, mientras que la concentración de luteína se reduce a niveles no detectables en algunos tipos de chile.

Vitamina C

La vitamina C (ácido ascórbico) es una lactona de seis carbonos que se sintetiza a partir de la glucosa en el hígado de la mayoría de las especies de mamíferos, pero no en los seres humanos, primates y conejillos de indias. Estas especies no tienen la enzima oxidasa gulonolactona, que es esencial para la síntesis del ácido ascórbico precursor inmediato 2-ceto-L-gulonolactona. El ADN que codifica para gulonolactona oxidasa ha sido objeto de mutación sustancial, resultando en la ausencia de una enzima funcional (Nishikimi y Yagi, 1996). La vitamina C en los seres humanos debe ser ingerida para la supervivencia, es un donador de electrones, y esto explica la propiedad de

todas sus funciones conocidas. Como un donante de electrones, la vitamina C es un antioxidante soluble en agua potente en los seres humanos. Efectos antioxidantes de la vitamina C se ha demostrado en muchos experimentos *in vitro*. Las enfermedades humanas tales como la aterosclerosis y el cáncer se pueden producir en parte del daño oxidante a los tejidos (Padayatty *et al.*, 2003). La vitamina C se encuentra principalmente en frutas y hortalizas (Haytowitz, 1995). Fuentes de frutas ricas incluyen melón, pomelo, melón dulce, kiwi, mango, naranja, papaya, fresas, mandarina y sandía. Los jugos de frutas que contienen vitamina C en abundancia incluyen pomelo y naranja. Varios zumos de frutas están fortificados con vitamina C, incluyendo manzana, arándano y jugo de uva. Fuentes vegetales ricas en vitamina C son los espárragos, brócoli, col de Bruselas, col, coliflor, col rizada, hojas de mostaza, chiles, plátano, papa, arveja china, batatas y tomate. Las variables que afectan el contenido de vitamina C de las frutas y verduras son: Temporada de cosecha, duración del transporte para el mercado, período de prácticas de almacenamiento y espacio para cocinar (Padayatty *et al.*, 2003). Los chiles frescos son también excelentes fuentes de ácido ascórbico, que participa en varios procesos antioxidantes de las plantas además de actuar en la prevención de enfermedades crónicas humanas, incluyendo ciertos tipos de cáncer, enfermedad coronaria, arteriosclerosis y cataratas (Howard *et al.*, 2000).

Materiales y Métodos

El experimento se estableció en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Saltillo, Coahuila, México, en condiciones de invernadero, localizado a 25° 23' LN y 101° 01' LO, con una altitud de 1743 msnm. Se utilizó semilla de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq) variedad Jaguar. Las semillas fueron sembradas el día 30 de mayo del 2014 en charolas de poliestireno de 200 cavidades, utilizando peat moss premier mix como sustrato. El trasplante se realizó el 11 de julio del 2014, cuando las plantas presentaron una altura de 10 cm dentro de un invernadero tipo cenital de estructura metálica con láminas laterales de policarbonato y plástico blanco lechoso (calibre 720) en el techo. Lo anterior se realizó en bolsas de plástico negro de 20 litros, se utilizó sustrato peat moss y perlita (70:30 v/v). Las bolsas con el material vegetativo fueron ordenadas a una distancia de 40 cm entre plantas y 70 cm entre hileras. Cuando las plantas presentaron primordios florales se realizó la aplicación foliar con P-Ca a las dosis de 0 (control-agua), 50, 100 y 150 mg L⁻¹. Se realizó una segunda aspersion con P-Ca con las mismas concentraciones 15 días después de la primera aplicación. Las variables evaluadas fueron tasa de crecimiento de altura y diámetro de tallo, número de frutos, longitud de fruto y rendimiento por planta; contenido de capsaicina, carotenoides totales, vitamina C en frutos maduros. Se utilizó un diseño estadístico completamente al azar con 3 repeticiones por tratamiento. Los resultados obtenidos fueron analizados con el programa estadístico SAS versión 9.1, para obtener el análisis de varianza y comparación de medias mediante LSD ($P \leq 0.05$).

Evaluación hortícola

La tasa de crecimiento de la planta en altura y diámetro de tallo se obtuvo al medirse semanalmente durante su ciclo biológico. Para medir la altura, se utilizó una cinta métrica con escala 0 a 2 m, midiendo desde la base del tallo hasta el ápice de la planta. El diámetro de tallo se midió en su parte media con

un vernier a una escala de 0 a 10 cm. El número de flores por planta se registró en cada floración. La longitud y número de frutos, así como el rendimiento se determinaron en cada uno de los cuatro cortes y se sumaron al final. Para el pesado de los frutos se utilizó una báscula Ohaus modelo SP602, capacidad máxima 600 gramos con aproximación de 0.1 gramos.

Determinación de antioxidantes

El contenido de capsaicina en frutos se determinó con el método de Bennet y Kirby (1968). Se tomaron cinco frutos maduros por repetición por tratamiento, se liofilizaron y maceraron en mortero. Se pesó 1 g de muestra y se le agregaron 10 ml de etanol absoluto y se agitó la mezcla por 15 min. Se filtró en papel Whatman No. 1 y se aforó a 25 ml con etanol. La muestra se trasladó a un embudo de separación y se agregaron 2.5 ml de solución amortiguadora a pH de 2.8 más 0.5 ml de etanol, 20.5 ml de agua destilada y 10 ml de solución Adogen-Tolueno. Se agitó vigorosamente la mezcla por 1 min. Posteriormente, se determinó la absorbancia de la capsaicina en la fase orgánica en un espectrofotómetro (Thermo Electron Corporation Biomate 5) a una longitud de onda de 286 nm. Se realizó una lectura por repetición. Para determinar la concentración de capsaicina en las muestras, se construyó una curva de calibración con este antioxidante (Sigma, Co) en un intervalo de 0 - 0.40 mg·ml⁻¹, disuelta en los disolventes mencionados.

La determinación del contenido de carotenoides totales en los tejidos se realizó utilizando la técnica descrita por Tomas (1975), con algunas modificaciones. Se pesaron 10 g de fruto fresco y se agregó 50 ml de acetona y se dejó 24 h en refrigeración. En un mortero se trituró y el líquido se filtró en una gasa a través de un embudo de separación, se lavó la muestra a través de una gasa con 20 ml de acetona cuatro veces. Se le agregó 20 ml de éter de petróleo y 100 ml de agua destilada y se mezcló suavemente, al separar la capa superior contenedora de los carotenoides se volvió agregar 20 ml de éter de petróleo y 100 ml de agua destilada de ocho a nueve veces y se le adicionó 10 ml de

NaOH al 40 %. Posteriormente se lavó la muestra con 50 ml de agua destilada para eliminar NaOH al 40 % utilizado como indicador fenolftaleína y se agregó 20 ml de sulfato de sodio al 10 %. La mezcla se filtró a través de una gasa que contenía sulfato de sodio anhidro y se tomó el volumen final de la solución. Se determinó la absorbancia de carotenoides en un espectrofotómetro (Thermo Electron Corporation Biomate 5) a una longitud de onda de 454 nm utilizando como blanco el éter de petróleo. El contenido de carotenoides totales se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$\mu\text{g Carotenoides} / 100\text{g fruto} = \% \text{ ABS} \times 3857 \times V \times 100 / P$$

Dónde: % ABS = por ciento de absorbancia, 3857= factor establecido, V = volumen medido de la probeta, y P = peso de la muestra en gramos.

El contenido de vitamina C en los frutos se determinó con la metodología reportada por Padayatt *et al.* (2001). Se pesaron 10 g de peso fresco de fruto y se colocaron en un mortero, se trituró con 10 ml de ácido clorhídrico al 2 % (v/v). Se homogeneizó la mezcla en 40 ml de agua destilada. Se filtró a través de gasa y se colectó en un matraz Erlenmeyer. Se tomaron 10 ml del sobrenadante y se titularon con 2,6-diclorofenolindofenol (1×10^{-3} N), cuando la solución alcanzó un color rosa. El contenido de vitamina C se determinó utilizando la siguiente fórmula:

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

Resultados y Discusión

Crecimiento de tallo

La altura de las plantas y el diámetro de tallo de chile habanero se redujeron significativamente ($P \leq 0.5$) a partir de la novena y cuarta semana respectivamente con las dosis crecientes de P-Ca al compararse con el control (Figuras 1 y 2). Este comportamiento se mantuvo en ambos tejidos durante el ciclo de crecimiento. Los valores máximos observados en la reducción de crecimiento fueron de 52% en la altura del tallo y de un 30.5% en el diámetro de ese órgano al compararse con el control. Prohexadiona de Calcio es un retardante de crecimiento que inhibe la síntesis de las giberelinas biológicamente activas A_1 , A_4 , y A_7 (Brown *et al.*, 1997; Evans *et al.*, 1999). Este efecto se relaciona directamente con la reducción en el crecimiento vegetativo observado en las figuras 1 y 2, el cual refleja una disminución en la elongación celular (Rademacher y Kober., 2003; Evans *et al.*, 1999). Ramírez *et al.* (2008) identificaron en ápices de tomate saladette y chile pimiento tratados con P-Ca las giberelinas biológicamente inactivas GA_{20} y GA_{53} y demostraron el bloqueo de la síntesis de GA_1 , GA_4 y GA_7 las cuáles son responsables del crecimiento de tallo y diámetro en ambas especies. Este efecto de disminución de crecimiento se ha observado en chile mirador (Ramírez *et al.*, 2010a), tomate de cascara (Ramírez *et al.*, 2010c), chile jalapeño (Ramírez *et al.*, 2015) y frutales como manzano (Unrath 1999; Miller 2002; Basak 2007); y, en ornamentales como petunia (Ilias y Rajapakse., 2005). El efecto de P-Ca en el diámetro de tallo también se ha observado previamente en chile jalapeño (Ramírez *et al.*, 2015). Al final del ciclo vegetativo se observó en la mayoría de los tratamientos con P-Ca una tendencia a restaurar el crecimiento, aunque sin alcanzar al desarrollo de las plantas del control (Figuras 1 y 2). La restauración en el crecimiento del tallo principal y diámetro en la última etapa de desarrollo se ha observado en otras especies hortícolas tratadas con P-Ca, y se relaciona

con el retorno de la síntesis de las giberelinas biológicamente activas en el ápice de esas plantas (Rademacher, 2004).

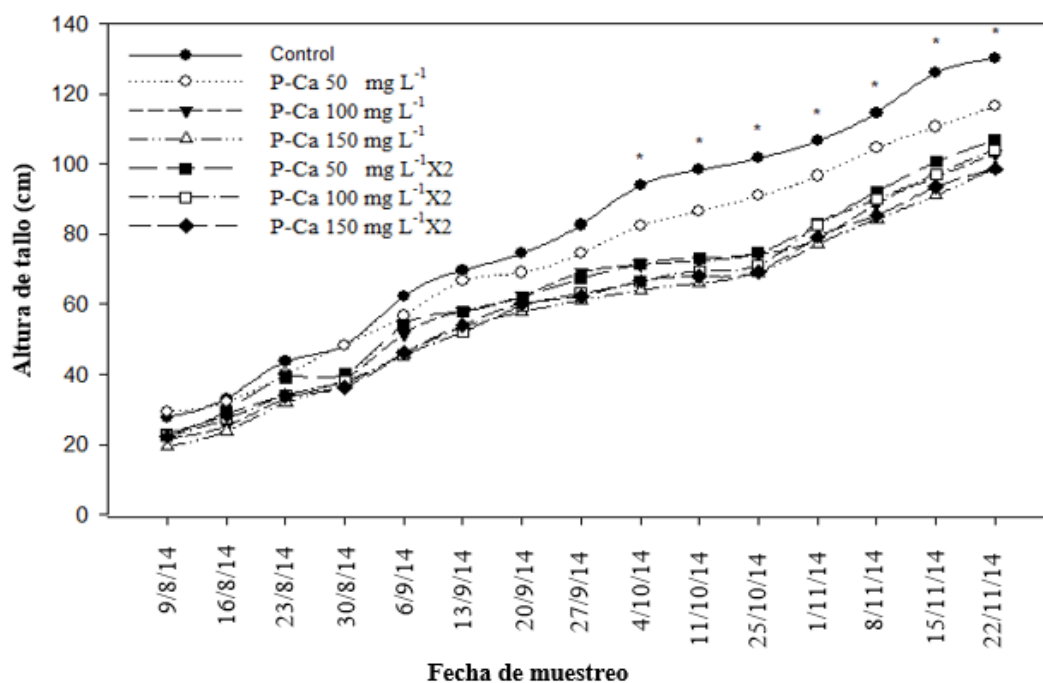


Figura 1. Efecto de prohexadiona de calcio sobre la tasa de crecimiento en altura del tallo en chile habanero var. Jaguar. Cada punto representa el promedio de nueve plantas. *indica diferencia estadísticamente significativa de acuerdo con la prueba de LSD ($P \leq 0.05$).

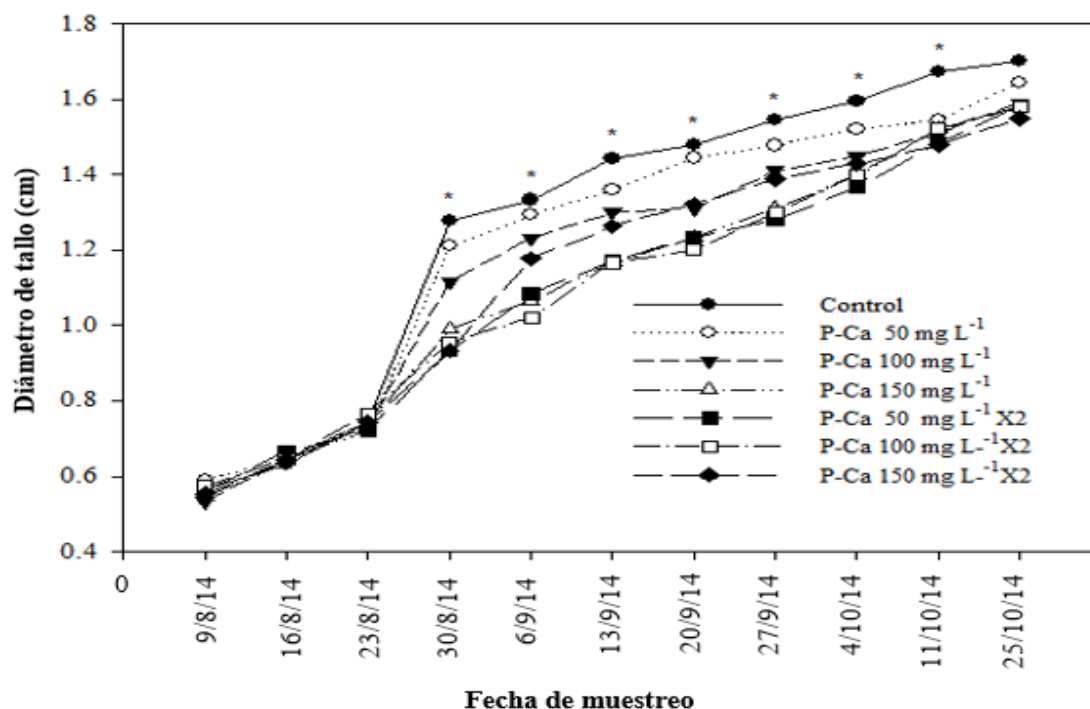


Figura 2. Efecto de prohexadiona de calcio sobre la tasa de crecimiento del diámetro del tallo en chile habanero var. Jaguar. Cada punto representa el promedio de nueve plantas. *indica diferencia estadísticamente significativa de acuerdo con la prueba de LSD ($P \leq 0.05$).

Floración, frutos y rendimiento

Se observó una tendencia a mayor número de flores por planta conforme se incrementó la concentración de P-Ca (Figura 3). La dosis del bioregulador a 50 mg L⁻¹X2 mostró la mayor floración y superó significativamente al control en un 50%. Ramírez *et al.* (2009) mencionan que es probable que exista un sinergismo entre P-Ca y el aumento de citocininas en la yema estimulada a ser floral, condición que resulta en un mayor número de flores por planta. Ramírez *et al.* (2005) realizaron aplicación de diferentes concentraciones de P-Ca en híbridos de tomate y observaron que el retardante de crecimiento indujo un incremento significativo en el contenido de citocininas. Este efecto también se ha reportado en chile mirador en donde hubo un aumento en el número de flores (Ramírez *et al.*, 2010a); y en frutales como cereza (Elfving *et al.*, 2003), manzana, pera y ciruelo (Basak y Rademacher., 1998).

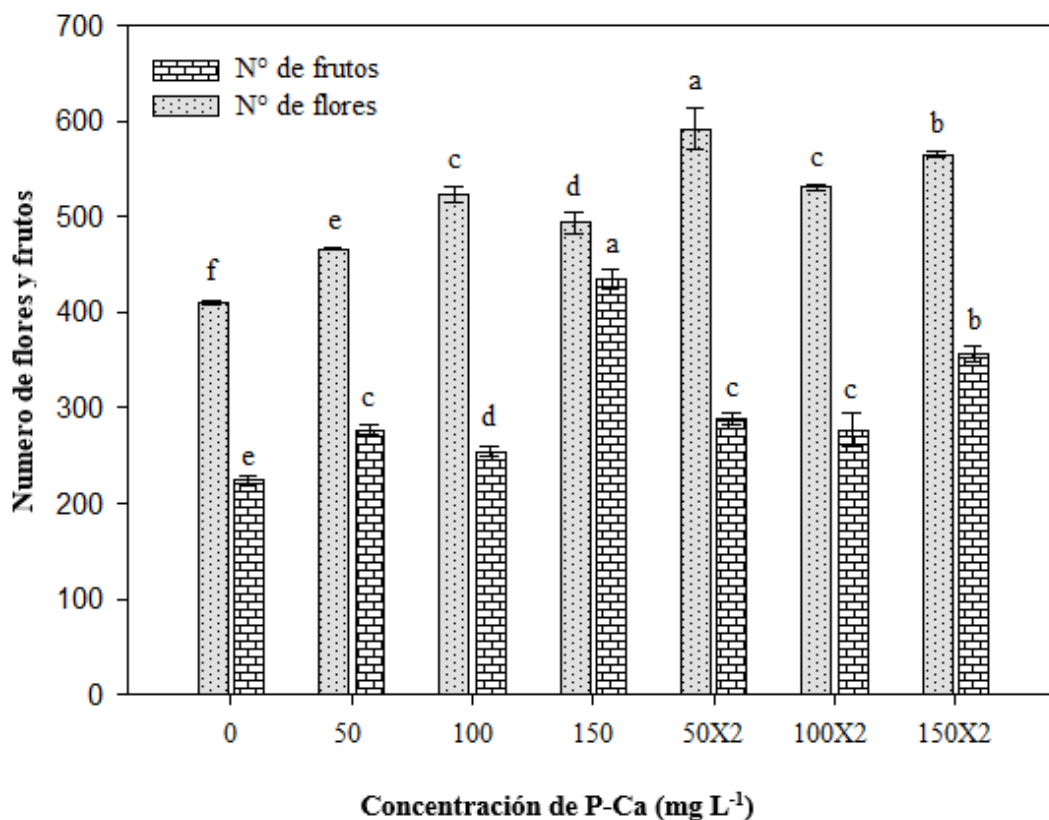


Figura 3. Efecto de prohexadiona de calcio sobre número de flores y frutos en chile habanero var. Jaguar. Barras con la misma letra son iguales (LSD $P \leq 0.05$).

Al sumar el número de frutos en los cuatro cortes por planta efectuados, se observó que cualquier tratamiento con P-Ca superó significativamente al control (Figura 3). El tratamiento con P-Ca a 150 mg L⁻¹ causó el incremento más sobresaliente al duplicar prácticamente el número total de frutos del producido en el control. Cuando se aplicó la misma dosis de P-Ca en dos ocasiones, se alcanzó un incremento del 60% contra el control. El rendimiento por planta reflejó también el efecto anterior. La producción aumentó significativamente en todos los tratamientos con prohexadiona de calcio (Cuadro 1); sobresaliendo nuevamente los tratamientos con P-Ca a 150 mg L⁻¹ en una o dos aplicaciones en donde se observaron incrementos del 43% y 36% respectivamente al compararse con el control. El tamaño del fruto se redujo con la mayoría de las dosis con P-Ca (Cuadro 1).

Cuadro 1. Efecto de P-Ca sobre la longitud de fruto y rendimiento en chile habanero var. Jaguar.

Factor	P-Ca mg L ⁻¹							C.V. %
	Control	50	100	150	50X2	100X2	150X2	
Longitud de fruto	4.263 ^{ax}	4.049 ^{abc}	4.081 ^{ab}	4.136 ^a	4.068 ^{ab}	3.704 ^{bc}	3.632 ^c	6.151 *
Rendimiento (g)	991.788 ^d	1225.90 8 ^{bx}	1117.58 7 ^c	1628.87 2 ^a	1211.36 8 ^b	1123.03 2 ^c	1232.71 3 ^b	1.631 *

*,significativo a una $p \leq (0.05)$; C.V. : coeficiente de variación, x Valores con la misma letra en cada factor son iguales (LSD $p \leq 0.05$), cada factor representa el promedio de 9 plantas. X2 = P-Ca aplicado dos veces.

Deka y Shadeque. (1996) mencionan que el rendimiento depende de la acumulación de fotoasimilados y particiones en diferentes partes de la planta. P-Ca es un retardante del crecimiento capaz de modificar la translocación de asimilados y la redistribución de la materia seca ocasionando con ello una mejora en el rendimiento (Chetti. 1991); además, estimula la inducción floral y cuajado de frutos (Ramírez *et al.*, 2005; Ramírez *et al.*, 2010c). El incremento en número de flores y frutos observados en la figura 1 y el aumento en el rendimiento reportado en el cuadro 1 sustentan lo anterior. La inhibición del crecimiento vegetativo posiblemente hizo disponibles mayores reservas de alimentos para el cuajado y desarrollo de frutos (Ma y Smith, 1992). Se han reportado trabajos con resultados similares en chile jalapeño con P-Ca en donde se observó un aumento en el rendimiento (Ramírez *et al.*, 2009; Ramírez *et al.*, 2010a; Ramírez *et al.*, 2015) y en tomate de cascara y saladette (Ramírez *et al.*, 2005; Ramírez *et al.*, 2010c). La reducción en la longitud del fruto causado por P-Ca podría estar ligada al notable incremento en el cuajado de fruto que se observó entre los tratamientos con el retardante de crecimiento; sin embargo, este fenotipo puede ser compensado con el enriquecimiento cualitativo del fruto cosechado como ya ha sido demostrado en cereza y otros frutales (Rademacher y Kober, 2003).

Capsaicina

La prohexadiona de Ca incrementó el contenido de capsaicina en frutos a cualquier dosis evaluada (Figura 4). El tratamiento con P-Ca a 150 mg L⁻¹ provocó el mayor contenido de capsaicina. La dosis a 50 mg L⁻¹ aplicados en una o dos ocasiones también ocasionaron incrementos substanciales en este antioxidante.

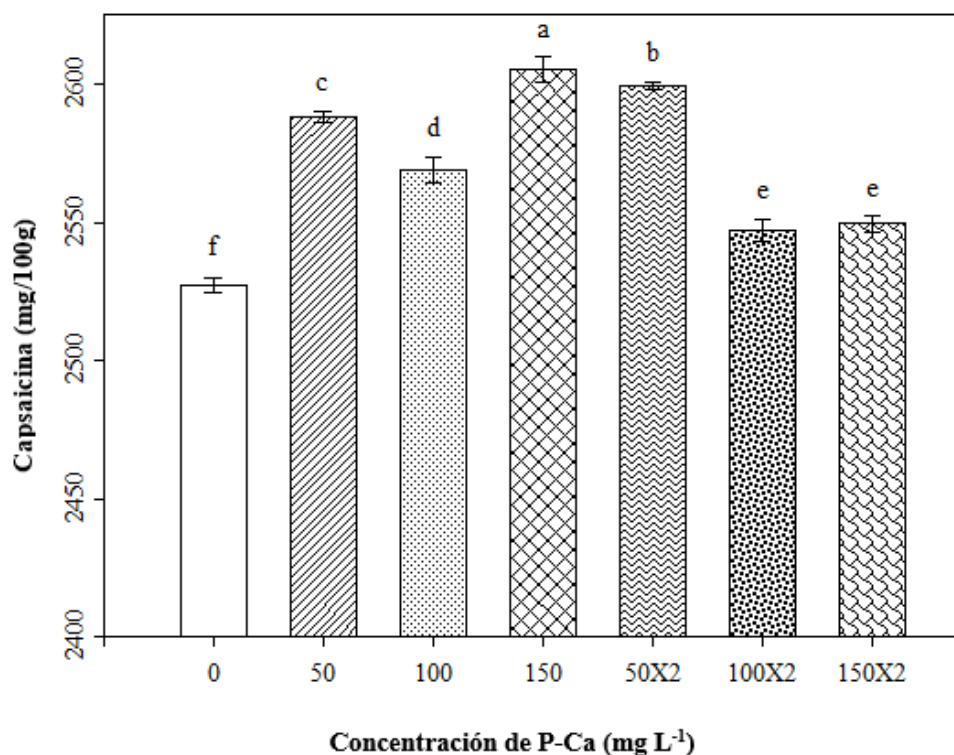


Figura 4. Efecto de prohexadiona de calcio sobre los niveles de capsaicina en frutos de chile habanero var. Jaguar. Cada barra representa la media de tres repeticiones. Barras con la misma letra son iguales (LSD $P \leq 0.05$).

La información sobre los efectos de P-Ca en chile habanero es muy escasa; sin embargo, existen reportes de incrementos en el nivel de capsaicina en frutos de chile jalapeño tratado con P-Ca (Ramirez et al., 2009; Ramirez et al., 2010a). Es posible que prohexadiona de calcio modifique a nivel enzimático la ruta biosintética de los flavonoides, generando flavonoides modificados ligados a la actividad antioxidante en tejidos jóvenes (Rademacher 2004; Ramirez *et al.*, 2010a). Se conoce la síntesis de capsaicina donde su estructura química

consiste en un núcleo fenólico unido mediante un enlace amida a un ácido graso; en donde la porción fenólica es la vainillilamina, que se forma a partir de la fenilalanina por medio de la ruta de los fenilpropanoides y el ácido graso se forma a partir de aminoácidos de cadena lateral ramificada, ya sea valina o leucina (Vázquez *et al.*, 2007). Se sugiere entonces que P-Ca podría prolongar este proceso resultando en mayor producción de capsaicina (Evans *et al.*, 1999).

Carotenoides totales

La mayoría de los tratamientos con P-Ca modificaron el contenido de carotenoides totales en frutos de chile habanero (Figura 5). Este efecto fue mayor cuando se aplicó el P-Ca a las dosis de 50 mg L⁻¹ en una o dos aplicaciones causando un incremento de carotenoides totales del 22% y 38% respectivamente al compararse con el control.

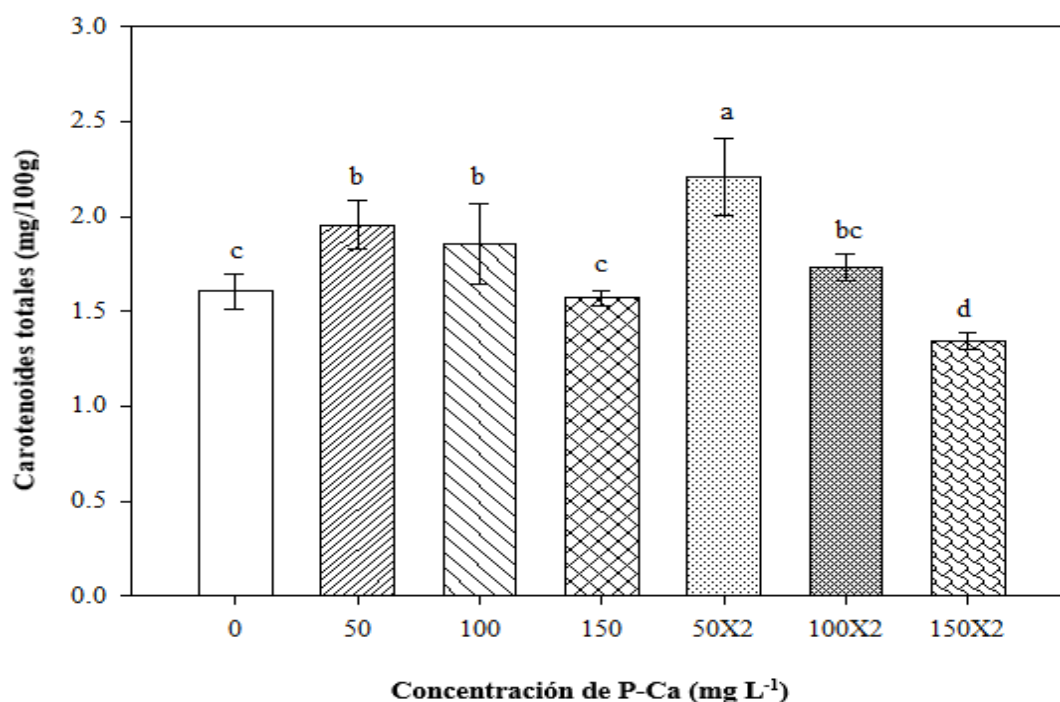
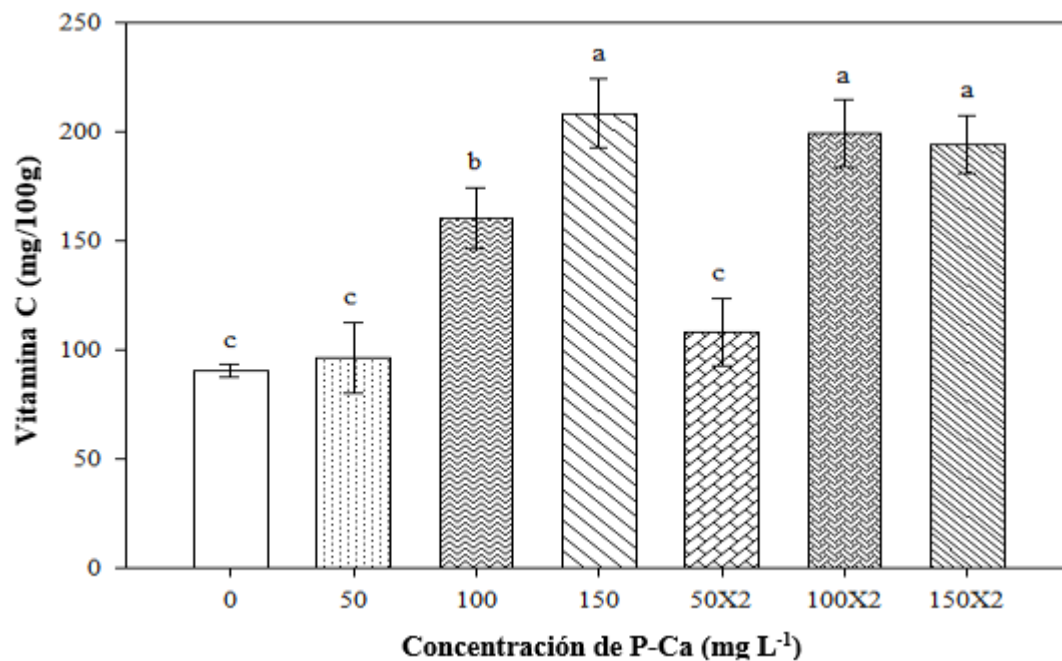


Figura 5. Efecto de prohexadiona de calcio sobre el contenido de carotenoides totales en frutos de chile habanero var. Jaguar. Cada barra representa la media de tres repeticiones. Barras con la misma letra son iguales (LSD $P \leq 0.05$).

La información sobre los posibles efectos y de prohexadiona de calcio sobre el metabolismo y síntesis de carotenos en frutos de chile habanero es muy limitada. En chile jalapeño se ha reportado evidencia de un incremento en carotenos con la aplicación de P-Ca. Este efecto es muy contundente con aumento en los niveles de luteolina en frutos maduros (Ramírez *et al.*, 2015). En tomate floradade P-Ca aumentó el contenido de licopeno en frutos maduros (Ramírez *et al.*, 2010b). El retardante de crecimiento provocó incrementos en el contenido de carotenoides, mejorando con ello el color de la cáscara de mandarina y naranja (Barry y Roux, 2010). Por lo tanto, es conveniente investigar más sobre la influencia de P-Ca en el metabolismo de maduración de frutos.

Vitamina C

La prohexadiona de calcio estimuló un aumento en el contenido de vitamina C en frutos maduros de chile habanero var. Jaguar (Figura 6). Los tratamientos con el bioregulador aplicados en las concentraciones de 100 y 150 mg L⁻¹ en una o dos asperciones causaron en promedio un aumento del 148% en el contenido de vitamina C al compararse con los frutos del control. Este efecto se observó previamente en chile jalapeño (Ramírez *et al.*, 2009; Ramírez *et al.*, 2010a) y en tomate de cascara (Ramírez *et al.*, 2010c). Rademacher y Kober (2003) mencionan que el etileno se genera a partir de ácido aminociclopropanocarboxílico (ACC) en una reacción catalizada por la ACC oxidasa. Esta es una dioxigenasa que requiere ácido ascórbico como un co-sustrato y P-Ca también es inhibidora para esta enzima. Por lo anterior se plantea la hipótesis que P-Ca al inhibir la síntesis de etileno provoca una acumulación de ácido ascórbico ya que P-Ca compite por el sitio activo en la síntesis de etileno.



IFigura 6. Efecto de prohexadiona de calcio sobre el contenido de vitamina C en frutos de chile habanero cv. Jaguar. Cada barra representa la media de tres repeticiones. Barras con la misma letra son iguales (LSD $P \leq 0.05$).

Conclusiones

Con los resultados obtenidos y bajo las condiciones en que se realizó esta investigación se concluye que P-Ca reduce el crecimiento de altura y diámetro de tallo; aumenta floración, número de frutos y rendimiento por planta; y, provoca un incremento en el contenido de capsaicina, carotenoides totales y vitamina C en frutos maduros de chile habanero var. Jaguar.

P-Ca tiene potencial para utilizarse como alternativa en la mejora en la calidad y rendimiento del chile habanero.

Referencias

- Antonious, G. F. and Jarret, R. L. 2006. Screening Capsicum accessions for capsaicinoids content. *Journal of Environmental Science and Health Part B*. 41(5): 717-729.
- Antonious, G. F., Kochhar, T. S. and Jarret R. L. 2009. Pungency in Capsicum chinense: variation among countries of origin. *Journal of Environmental Science and Health Part B*. 44: 179-184.
- Aruoma, O. I. (1994). Nutrition and health aspects of free radicals and antioxidants. *Food and Chemical Toxicology*, 32(7): 671-683.
- Asociación Mexicana de Secretarios de Desarrollo Agropecuario, A.C 2012. Plan Rector del Sistema Producto Chile.11, 30 pp
- Barry, G. H., and Le Roux, S. 2010. Preharvest Foliar Sprays of Prohexadione–calcium, a Gibberellin-biosynthesis Inhibitor, Induce Chlorophyll Degradation and Carotenoid Synthesis in Citrus Rinds. *HortScience*, 45(2): 242-247.
- Basak, A. 2007. The effect of prohexadione-Ca on shoot growth and cropping of young apple trees of Jonagold cv. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu. Ogrodnictwo*, 41: 261-268.
- Basak, A., and Rademacher, W. 1998. Growth regulation of pome and stone fruit trees by use of prohexanedione-Ca. In XXV International Horticultural Congress, Part 4: Culture Techniques with Special Emphasis on Environmental Implications 514: 41-50.
- Brown, R. G., Kawaide, H., Yang, Y. Y., Rademacher, W. and Kamiya, Y. 1997. Daminozide and prohexadione have similar modes of action as inhibitors of the late stages of gibberellin metabolism. *Physiologia Plantarum*. 101 (2): 309-313.
- Bulda, O. V., Rassadina, V. V., Alekseichuk, H. N. and Laman, N. A. 2008. Spectrophotometric measurement of carotenes, xanthophylls, and chlorophylls in extracts from plant seeds. *Russian Journal of Plant Physiology*. 55(4):544-551.
- Chetti, M. B. 1991. Evaluation of Chamatkar on groundnut. *Pestology*, 15: 43-50.

- Cuesta, G. y Mondaca, E. 2014. Efecto de un bioregulador a base de auxinas sobre el crecimiento de platines de tomate. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 20(2): 215-222.
- Curtis, H., and Schnek, A. 2008. *Curtis. Biología*. Ed. Médica Panamericana. 886
- Deka, P. C., and Shadeque, A. 1996. Effect of foliar sprays of cycocel (CCC) on the growth and yield of bell pepper. *Hort. J*, 9(2): 144-147.
- Delgado-Olivares L., Betanzos-Cabrera G. y Sumaya-Martínez M. 2010. Importancia de los antioxidantes dietarios en la disminución del estrés oxidativo. *Investigación y Ciencia*. (50): 10-11 pp
- Elfving, D. C., Lang, G. A., and Visser, D. B. 2003. Prohexadione-Ca and ethephon reduce shoot growth and increase flowering in young, vigorous sweet cherry trees. *HortScience*, 38(2): 293-298.
- Evans, J. R., Ishida, C. A., Regusci, C. L. and Rademacher, W. 1999. Mode of action, metabolism and uptake of BAS-125W, Prohexadione-calcium. *HortScience*. 34:1200-1201.
- Flores-Novelo A., Jiménez-Diez O y Eastmod A, 2008. Análisis Comparativo de la Estructura de los Canales de Distribución de Chile Tema; Administración del Desarrollo Regional y Sustentabilidad. XII Congreso Anual de la Academia de las Ciencias Administrativas A.C. Tijuana ,BC. 7pp
- García, F., Caselles, J. and Santamarina, M. 2006. *Introducción al funcionamiento de las plantas*. Editorial UPV, Valencia, España. 81
- Gregory, G. K., Chen, T. S. and Philip, T. 1987. Quantitative analysis of carotenoids and carotenoid esters in fruits by HPLC: red bell peppers. *Journal of food Science*. 52(4): 1071-1073.
- Halliwell, B. 2006. Reactive species and antioxidants. Redox biology is a fundamental theme of aerobic life. *Plant physiology*. 141(2): 312-322.
- Haytowitz, D. B. 1995. Information from USDA's Nutrient Data Bank. *The Journal of nutrition*. 125(7): 1952-1955.
- Howard, L. R., Talcott, S. T., Brenes, C. H., and Villalon, B. 2000. Changes in phytochemical and antioxidant activity of selected pepper cultivars (*Capsicum* species) as influenced by maturity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48 (5):1713-1720.
- Ilias, I. F., and Rajapakse, N. 2005. Prohexadione-calcium affects growth and flowering of petunia and impatiens grown under photoselective films. *Scientia horticulturae*, 106(2):90-202.

- Krajewska, A. M. and Powers, J. J. 1988. Sensory properties of naturally occurring capsaicinoids. *Journal of Food Science*. 53(3):902-905.
- Ma, B. L. and Smith, D. L. 1992. Growth regulator effects on aboveground dry matter partitioning during grain fill of spring barley. *Crop science*, 32(3):741-746.
- Menichini, F., Tundis, R., Bonesi, M., Loizzo, M. R., Conforti, F., Statti, G. and Menichini, F. 2009. The influence of fruit ripening on the phytochemical content and biological activity of *Capsicum chinense Jacq.* cv Habanero. *Food Chemistry*. 114(2): 553-560.
- Miller, S. S. 2002. Prohexadione-calcium controls vegetative shoot growth in apple. *Journal of tree fruit production*, 3(1):11-28.
- Nishikimi M, and Yagi K. 1996. Biochemistry and molecular biology of ascorbic acid biosynthesis. *Subcell Biochem*. 25:17–39.
- Ortega-Shuguli 2000. Evaluación de fitohormonas y abonos foliares, para mejorar el amarre de fruto en tomate de árbol (*Cyphomandra betacea Sendt*) cultivar Puntón Amarillo, Tababela-Pichincha. Universidad del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas. 15pp.
- Padayatty, S. J., Katz, A., Wang, Y., Eck, P., Kwon, O., Lee, J. H. and Levine, M. 2003. Vitamin C as an antioxidant: evaluation of its role in disease prevention. *Journal of the American College of Nutrition*. 22(1): 18-35.
- Pérez-Martínez, A. 2012. Evaluación de un proyecto de inversión para determinar hasta cuánto deben invertir los productores para diferenciar el chile habanero. Postgrado de Socioeconómica, Estadística e Informática Económica. Colegio de Posgraduados Campus Montecillo 1-2pp
- Pimienta-Barrios, E., Muñoz-Urías, A., Ramírez-Hernández, B. C., and Lucila, M. M. 2006. Desarrollo vegetal. UDG. 59
- Pino, J., González, M., Ceballos, L., Centurión-Yah, A. R., Trujillo-Aguirre, J., Latournerie-Moreno, L. and Sauri-Duch, E. 2007. Characterization of total capsaicinoids, colour and volatile compounds of Habanero chilli pepper (*Capsicum chinense Jack.*) cultivars grown in Yucatan. *Food Chemistry*, 104 (4): 1682-1686.
- Prior, R. L. and Cao, G. 2000. Antioxidant phytochemicals in fruits and vegetables: diet and health implications. *HortScience*. 35(4): 588-592.
- Rademacher, W. 2000. Growth retardants: effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. *Annual review of plant biology*. 51(1):501-531.

- Rademacher, W. 2004. Chemical regulation of shoot growth in fruit trees. *Acta Horticulturae* 653: 9-15.
- Rademacher, W., and Kober, R. 2003. Efficient use of prohexadione-Ca in pome fruits. *European Journal of Horticultural Science*, 68(3):101-107.
- Ramírez Meraz, M., Arcos-Cavazos, G., Mata Vázquez, H., & Vázquez García, E. 2012. Jaguar, variedad de chile habanero para México. 5-11
- Ramírez, H. 2003. El uso de hormonas en la producción de cultivos hortícolas para exportación. In *Memoria del Tercer Simposio Nacional de Horticultura*. Saltillo, Coahuila, México, 1-22 pp.
- Ramírez, H., Amado-Ramírez, C., Benavides-Mendoza, A., Robledo-Torres, V. y Martínez-Osorio, A. 2010a. Prohexadiona-Ca, AG3, ANOXA y BA modifican indicadores fisiológicos y bioquímicos en chile Mirador. *Revista Chapingo. Serie horticultura*. 16(2):83-89.
- Ramírez, H., Herrera-Gómez, B., Benavides-Mendoza, A., Rancaño-Arriola, J. H., Álvarez-Mares, V., Amado-Ramírez, C. y Martínez-Osorio, A. 2010b. Prohexadiona de Calcio incrementa la capacidad antioxidante, el contenido de licopeno y la actividad enzimática en frutos de tomate Floradade. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*. 16(3):155-160.
- Ramírez, H., Méndez-Paredes, O., Benavides-Mendoza, A. y Amado-Ramírez, C. 2009. Influencia de Prohexadiona-Ca y promotores de oxidación sobre el rendimiento, Capsaicina y vitamina C en chile jalapeño. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 15(3): 231-236.
- Ramírez, H., Peralta-Manjarrez, R. M., Benavides-Mendoza, A., Sánchez-López, A., Robledo-Torres, V. y Hernández-Dávila, J. 2005. Efecto de prohexadiona-Ca en tomate y su relación con la variación de la concentración de giberelinas y citocininas. *Chapingo Horticultura*. 11(2): 283-290.
- Ramírez, R. H., Camacho, C. V. M., Ramírez, P. L. J., Rancaño, A. J. H., Sepúlveda, T. L., y Robledo T. V. 2015. La prohexadiona-Ca provoca cambios en el crecimiento vegetativo, giberelinas, rendimiento y luteolina en chile jalapeño. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2(4):13-22.
- Ramírez, R. H., Herrera, G. B., Méndez, Q. Y. H., Benavides, M. A., Álvarez, M. V., Rancaño, A. J. H., y Villareal, Q. J. A. 2008. Prohexadiona de calcio disminuye el contenido de giberelinas endógenas en ápices de tomate saladette y chile pimiento. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 14(2):193-198.
- Ramírez, R. H., Rivera, C. C. E., Benavides, M. A., Robledo, T. V. y Reyna, S. G. 2010c. Prohexadiona-Ca, una alternativa en la producción de tomate

- de cáscara (*Physalis ixocarpa Brot.*). Revista Chapingo. Serie horticultura, 16(2):139-146.
- Rodríguez, M. A., Valenzuela, S. A., Troncoso, R. R., González, M. D., Grimaldo, J. O., Avilés, M. M. y Cervantes, D. L. 2012. Antioxidant activity and bioactive compounds of Chiltepin (*Capsicum annuum var. glabriusculum*) and Habanero (*Capsicum chinense*): A comparative study. J. Med. Plants Res. 6(9):1758-1763.
- Sánchez, A., Flores-Cotera, L. B., Langley, E., Martin, R., Maldonado, G. y Sánchez, S. 1999. Carotenoides: Estructura, función, biosíntesis, regulación y aplicaciones. Revista Latinoamericana de Microbiología de México. 41(3): 175-192.
- Sen, S., Chakraborty, R., Sridhar, C., Reddy, Y. S. R. and De, B. 2010. Free radicals, antioxidants, diseases and phytomedicines: current status and future prospect. International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research. 3(1): 91-100.
- Unrath, C. R. 1999. Prohexadione-Ca: A promising chemical for controlling vegetative growth of apples. HortScience, 34(7):1197-1200.
- Vázquez-Flota, F., Miranda-Ham, M. L., Monforte-González, M., Gutiérrez-Carbajal, G., Velázquez-García, C. y Nieto-Pelayo, Y. 2007. La biosíntesis de capsaicinoides, el principio picante del chile. Revista Fitotecnia Mexicana. 30 (4):353-360.
- Wall, M. M., Waddell, C. A. and Bosland, P. W. 2001. Variation in β -carotene and total carotenoid content in fruits of *Capsicum*. HortScience3. 6(4):746-749.
- Zaki, N., Hakmaoui, A., Ouattmane, A., Hasib, A. and Fernández-Trujillo, J. P. 2013. Bioactive Components and Antioxidant Activity of Moroccan Paprika (*Capsicum annuum L.*) at Different Period of Harvesting and Processing. Journal of Biology, Agriculture and Healthcare. 3(8): 1-8.
- Zamora, S. J. 2007. Antioxidantes: micronutrientes en lucha por la salud. Revista Chilena de Nutrición, Sociedad Chilena de Nutrición, Bromatología y Toxicología Chile. 34(1): 3