

# PROHEXADIONA-CA, AG<sub>3</sub>, ANOXA Y BA MODIFICAN INDICADORES FISIOLÓGICOS Y BIOQUÍMICOS EN CHILE MIRADOR

H. Ramírez<sup>¶</sup>; C. Amado-Ramírez; A. Benavides-Mendoza; V. Robledo-Torres; A. Martínez-Osorio.

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

## RESUMEN

El chile Mirador, es un cultivo de gran importancia económica y social en la región de El Mirador, Chicontepec, Veracruz, México. Sin embargo, su producción se ve limitada debido a que en la etapa fenológica de floración se presenta un alto porcentaje en la caída de flor. Esta situación altera adversamente el rendimiento y calidad de frutos. Con base en lo anterior, se estudió el efecto de biorreguladores en su fisiología y bioquímica. Cuando las plantas alcanzaron el 50 % de floración, con un atomizador manual se aplicaron los siguientes tratamientos: P-Ca 100 mg·L<sup>-1</sup>; ácido giberélico (AG<sub>3</sub>) 10 mg·L<sup>-1</sup>; ácido naftoxiacético (ANOXA) 10 mg·L<sup>-1</sup>; benciladenina (BA) 10 mg·L<sup>-1</sup>; P-Ca 100 mg·L<sup>-1</sup> + AG<sub>3</sub> 10 mg·L<sup>-1</sup>; P-Ca 100 mg·L<sup>-1</sup> + ANOXA 10 mg·L<sup>-1</sup>; P-Ca 100 mg·L<sup>-1</sup> + BA 10 mg·L<sup>-1</sup>; AG<sub>3</sub> 5 mg·L<sup>-1</sup> + ANOXA 5 mg·L<sup>-1</sup> + BA 5 mg·L<sup>-1</sup> y testigo (agua). Las variables evaluadas fueron: altura final de planta, flores por planta, cuajado de frutos, número de semillas por fruto, rendimiento, contenido de vitamina C y capsaicina en fruto maduro. La aplicación individual de P-Ca redujo la altura final de la planta. La combinación de P-Ca con AG<sub>3</sub>, ANOXA y BA incrementó el número total de flores, porcentaje de cuajado del fruto, número de semillas por fruto, rendimiento, contenido de vitamina C y capsaicina en frutos.

**PALABRAS CLAVE ADICIONALES:** *Capsicum annuum* L., hormonas, vitamina C, capsaicina.

## PROHEXADIONE-CA, GA<sub>3</sub>, ANOXA AND BA MODIFY PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL INDICATORS IN MIRADOR CHILLI

## ABSTRACT

Mirador chili is a vegetable crop of economic and social consideration in the Mirador, Chicontepec region of Veracruz, México. However, its yield is often reduced as a result of a high percentage of flower drop. This condition adversely alters yield and fruit quality. For this reason, the effect of bioregulators on the physiology and biochemistry of the chili was evaluated. When Mirador chilli field plants reached 50 % flowering, the following treatments were applied with a hand sprayer: P-Ca 100 mg·L<sup>-1</sup>; GA<sub>3</sub> 10 mg·L<sup>-1</sup>; ANOXA 10 mg·L<sup>-1</sup>; BA 10 mg·L<sup>-1</sup>; P-Ca 100 + GA<sub>3</sub> 10 mg·L<sup>-1</sup>; P-Ca 100 + ANOXA 10 mg·L<sup>-1</sup>; P-Ca 100 + BA 10 mg·L<sup>-1</sup>; GA<sub>3</sub> 5 + ANOXA 5 + BA 5 mg·L<sup>-1</sup> and H<sub>2</sub>O (control). Plant height, flowers per plant, fruit set, seed number per fruit, yield, vitamin C and capsaicin in fruits were evaluated. P-Ca reduced final plant height. When P-Ca was combined with GA<sub>3</sub>, ANOXA or BA increases in total number of flowers, fruit set, seed number per fruit, yield and content of vitamin C and capsaicin in fruits were observed.

**ADDITIONAL KEY WORDS:** *Capsicum annuum* L., hormones, vitamin C, capsaicin.

## INTRODUCCIÓN

El chile Mirador (*Capsicum annuum* L.), es un cultivo de gran importancia económica y social en la región de El Mirador, Chicontepec, Veracruz, México. Además de sus atributos hortícolas, su principal característica es que no irrita el estómago de quien lo ingiere, ya que presenta una pungencia intermedia. Sin embargo, su producción se ve limitada debido a que en la etapa fenológica de floración tiene un considerable porcentaje en la caída de flor. Debido a la importancia de esta hortaliza es necesario generar nuevas formas de manejo, para mejorar su rendimiento y ofrecer alta calidad en el producto (Ramírez, 2003).

La temperatura, luz, humedad y condiciones apropiadas del suelo integradas a los factores genéticos y fisiológicos, son determinantes para un desarrollo óptimo de flor y fruto, cuyo reflejo se verá en la producción (Khanizadeh *et al.*, 1994; Heins *et al.*, 2000). La competencia entre órganos de la planta por fotoasimilados y hormonas pueden provocar aborto de flores y frutos (Blanusa *et al.*, 2006). Se ha sugerido que el aborto de flores y frutos recién cuajados, están relacionados con desequilibrios hormonales y fisiológicos en las plantas, en particular bajo condiciones ambientales adversas, como temperatura (Yun-Im *et al.*, 2008), luz (Marcelis *et al.*, 2004), humedad (Marlow, 2009) y un desbalance hormonal (Blanusa *et al.*, 2006).

Las hormonas tienen una función importante en la fisiología de plantas. En la actualidad, estas sustancias conocidas también como biorreguladores ofrecen una magnífica oportunidad para mejorar los sistemas de producción hortícola. El uso de hormonas tiene la ventaja de producir efectos temporales y por lo tanto, de modificar el fenotipo del producto de acuerdo a las necesidades del mercado (Ramírez, 2003). La aplicación de auxinas, giberelinas y citocininas reducen la caída de flores y por lo tanto, incrementan el cuajado de frutos (Panajotov, 1997; Hasanuzzaman *et al.*, 2007; Batlang, 2008; Raviraja *et al.*, 2008; Sridhar *et al.*, 2009).

Los retardantes del crecimiento de las plantas reducen la división y expansión celular en tejidos de brotes vegetales. Lo anterior permite controlar la altura de las plantas sin provocar malformaciones en las hojas o los tallos (Weaver, 1996; Rademacher, 2000). La prohexadiona de calcio (P-Ca) reduce el crecimiento vegetativo vía bloqueo de la biosíntesis de giberelinas biológicamente activas en tomate y chile pimiento (Rademacher, 2000) y aumenta las citocininas en meristemas apicales, las cuales promueven mayor floración y cuajado de fruto (Ramírez *et al.*, 2008). El conocimiento sobre la influencia de la Prohexadiona-Ca en la fisiología vegetal de varios cultivos hortícolas permite considerar a este retardante de crecimiento como un biorregulador que puede contribuir a controlar el crecimiento vegetativo-productivo de especies como jitomate y chile pimiento (Ramírez *et al.*, 2005). Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue evaluar los efectos de biorreguladores sobre la floración y cuajado de fruto sobre la, producción y la calidad de fruto en chile Mirador.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se llevó a cabo durante el año 2008 en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, a 25° 23' latitud norte y 101° 01' longitud oeste, con una altitud de 1,743 m. Se utilizó semilla criolla de chile Mirador originaria de la Huasteca Media Veracruzana. Las semillas fueron sembradas el 15 de junio de 2008 en charolas de poliestireno de 200 cavidades, utilizando como sustrato "peat moss" Premier Mix®. El trasplante se realizó el 20 de julio de 2008, a campo abierto, cuando las plántulas presentaron una altura de 15 cm. Lo anterior se realizó en camas meloneras con una distancia entre plantas de 30 cm a doble hilera. Cuando las plantas alcanzaron el 50 % de floración, con un atomizador manual se aplicaron los siguientes tratamientos: P-Ca 100 mg·L<sup>-1</sup>; ácido giberélico (AG<sub>3</sub>) 10 mg·L<sup>-1</sup>; ácido naftoxiacético (ANOXA) 10 mg·L<sup>-1</sup>; benciladenina (BA) 10 mg·L<sup>-1</sup>; P-Ca 100 mg·L<sup>-1</sup> + AG<sub>3</sub> 10 mg·L<sup>-1</sup>; P-Ca 100 mg·L<sup>-1</sup> + ANOXA 10 mg·L<sup>-1</sup>; P-Ca 100 mg·L<sup>-1</sup> + BA 10 mg·L<sup>-1</sup>; AG<sub>3</sub> 5 mg·L<sup>-1</sup> + ANOXA 5 mg·L<sup>-1</sup> + BA 5 mg·L<sup>-1</sup>, y testigo (agua). La aplicación de cada tratamiento con biorreguladores se combinó con el surfactante líquido nonifenol(10)polioxietilénico (PegoDel) a razón de 1 ml·L<sup>-1</sup> de agua. La aplicación se hizo temprano por la mañana (8 a 9 am) sobre el follaje de las plantas hasta punto de goteo. Las variables evaluadas fueron: altura final de planta, flores por planta, porcentaje de cuajado de frutos, número de semillas por fruto, rendimiento por planta, contenido de vitamina C y capsaicina en fruto. Se utilizó un diseño estadístico de parcelas divididas con cinco repeticiones por tratamiento para las variables de rendimiento y para las variables de calidad de fruto se utilizaron tres repeticiones por tratamiento. Los resultados obtenidos fueron analizados con el programa estadístico SAS (2002), para Windows versión 9.0 para obtener el análisis de varianza y comparación de medias mediante la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

## PARÁMETROS HORTÍCOLAS

La altura final de planta se determinó al final del ciclo, midiendo con una cinta métrica escala 0 a 2 m desde la base del tallo hasta el ápice de la planta. El número total de flores y porcentaje de cuajado de fruto por planta, se realizó en 10 plantas por tratamiento (Dahal *et al.*, 2006). El número de semillas por fruto se realizó mediante la extracción y conteo de semillas de cinco frutos por planta. El rendimiento se determinó en la cosecha, utilizando una báscula Ohaus modelo 3729 con capacidad máxima de 3,000 gramos y resolución de 0.1 gramos.

## ANTIOXIDANTES

El contenido de vitamina C en frutos se determinó con el método reportado por Padayatt *et al.* (2001). Se maceró 1 mg 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 Erlen-

meyer. Se tomaron 10 ml del sobrenadante y se titularon con 2,6 – diclorofenolindofenol ( $1 \times 10^{-3}$  N), cuando la solución alcanzó un color rosa. El contenido de vitamina C se determinó utilizando la siguiente fórmula descrita por los autores del método referido:

$$\text{Vitamina C (mg 100 g PF)} = \frac{(\text{mL utilizados de 2,6 diclorofenol indofenol} \times 0.088 \times \text{volumen total} \times 100)}{(\text{Volumen de la alícuota} \times \text{peso de la muestra})}$$

La determinación del contenido de capsaicina en frutos se realizó con el método reportado por Bennet y Kirby (1968). Cuando el 80 % de los frutos alcanzaron su madurez fisiológica (Ramírez *et al.*, 2005), se cosecharon y conservaron a  $-20^{\circ}\text{C}$ . En el laboratorio, las muestras de chile se descongelaron. Se tomó 1 gramo de peso fresco de fruto completo en cada tratamiento y se maceró en un mortero, al que se le agregaron 10 mL de etanol absoluto y se agitó la mezcla por 15 minutos. Se filtró con papel Whatman núm. 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 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 minuto. Posteriormente, se determinó la absorbancia de la capsaicina en la fase orgánica en un espectrofotómetro (Geneys 10 uv Thermo Electro Corp) a una longitud de onda de 286 nm. Las lecturas se realizaron por triplicado para cada muestra. 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  $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ , disuelta en los disolventes referidos (Bennet y Kirby, 1968).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Altura de planta

El efecto de los biorreguladores en la altura de la planta de chile Mirador se ilustra en la Figura 1. El tratamiento P-Ca  $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  redujo significativamente ( $P \leq 0.05$ ) la altura de las plantas al compararse con el resto de los tratamientos. El efecto observado de P-Ca sobre la reducción en la altura de las plantas de chile Mirador concuerda con lo reportado por Ramírez *et al.* (2005) en tomate saladette. Esta reducción en altura, pudo estar directamente relacionado con un bloqueo por parte de P-Ca en la biosíntesis de giberelinas biológicamente activas como ha sido reportado por Rademacher (2004) y Ramírez *et al.* (2008). El resto de los tratamientos mostraron similitud al testigo. La concentración de AG<sub>3</sub>, ANOXA y BA utilizados no fueron suficientes para alterar ese fenotipo. Dosis superiores a  $50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de estos reguladores se requieren para aumentar la altura de planta de tomate (Ramírez, 2003). Cuando P-Ca se combinó con AG<sub>3</sub>, ANOXA o BA no se observó reducción en altura. Es posible que estos biorreguladores evitaban la acción retardante del primero. Esto ha sido observado en manzano, cerezo y duraznero cuando P-Ca se mezcló con estimulantes del crecimiento en dosis menores a  $50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  (Rademacher, 2004).

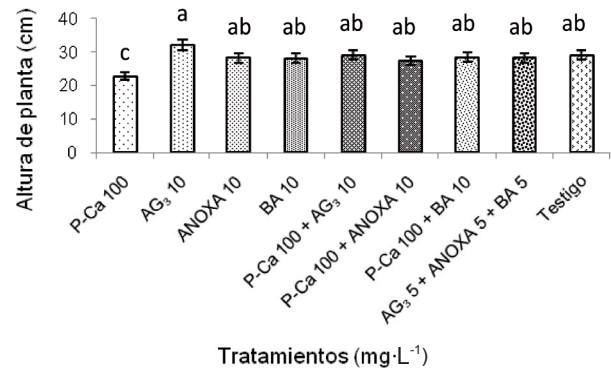


FIGURA 1. Efecto de biorreguladores en la altura de planta de chile Mirador. Cada barra representa la media de cinco repeticiones  $\pm$  error estándar. Medias con la misma letra son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey, a una  $P \leq 0.05$ .

### Número de flores

La Figura 2 muestra el efecto de los biorreguladores en el número total de flores. Los tratamientos P-Ca  $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , ANOXA  $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y BA  $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  individual o combinados incrementaron significativamente ( $P \leq 0.05$ ) el número de flores por planta. Resultados similares han sido reportados por Dahal *et al.* (2006) y Chaudhary *et al.* (2006) en chile. Ramírez *et al.* (2003) demostraron en manzano que P-Ca aumenta el contenido de citocininas en yemas meristemáticas las cuales posteriormente se transforman en florales. Rademacher (2000) logró aumentar el número de flores en cerezo cuando aplicó P-Ca a dosis de  $175 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ; mientras que Costa *et al.* (2004) observaron efectos similares en peral. Con base en lo anterior, es probable que exista un sinergismo entre P-Ca y las citocininas aplicadas que resultan en un mayor número de flores por planta. La influencia de ANOXA y AG<sub>3</sub> en el aumento de flores en chile ha sido previamente observado por Kamara (2001) cuando estos biorreguladores se aplican en dosis menores a  $15 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . A pesar que este efecto es consistente (Evans *et al.*, 1999), su mecanismo de acción en chile y otras especies hortícolas es aún desconocido (Owens y Stover, 1999).

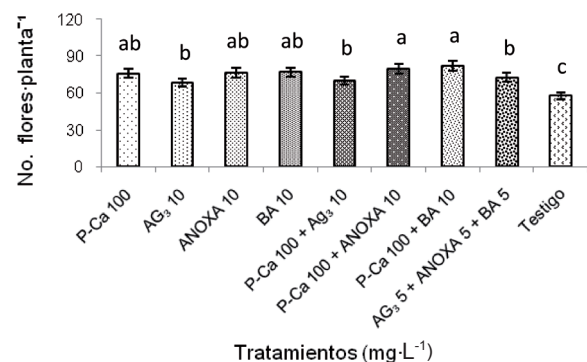
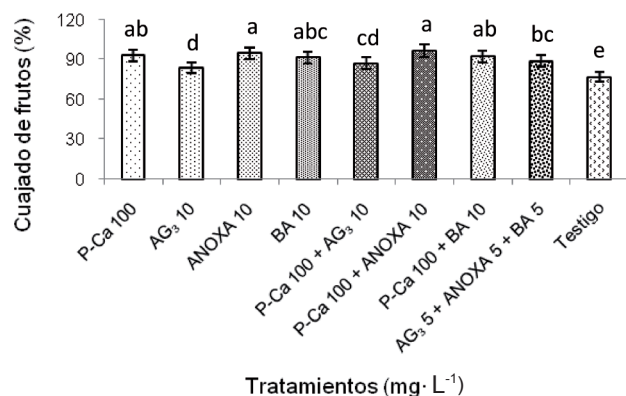


FIGURA 2. Efecto de biorreguladores en el número de flores en plantas de chile Mirador. Cada barra representa la media de cinco repeticiones  $\pm$  error estándar. Medias con la misma letra son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey, a una  $P \leq 0.05$ .

## Cuajado de fruto

Los efectos de los biorreguladores en el cuajado de frutos de chile Mirador se ilustran en la Figura 3. Se observó que al aplicar P-Ca 100 mg·L<sup>-1</sup>, ANOXA 10 mg·L<sup>-1</sup> y BA 10 mg·L<sup>-1</sup> individual o combinados aumentaron significativamente ( $P \leq 0.05$ ) el porcentaje de cuajado de fruto. Efectos similares reportaron Ramírez-Luna *et al.* (2005) y Sridhar *et al.* (2009) cuando aplicaron estos biorreguladores en chile habanero y en chile pimiento, respectivamente. El aumento en el cuajado de fruto en varios cultivos hortícolas se liga a un equilibrio entre auxinas, giberelinas y citocininas endógenas en ese órgano (Ramírez, 2003). La aplicación exógena de AG<sub>3</sub>, ANOXA y BA contribuye substancialmente a aumentar el porcentaje en el cuajado de fruto en manzano, cerezo, peral y duraznero (Rademacher, 2000). Por otro lado, P-Ca retarda el crecimiento vegetativo y modifica la traslocación de asimilados hacia frutos en desarrollo originando con esto mayor cuajado de frutos en tomate y manzano (Costa *et al.*, 2004; Ramírez *et al.*, 2005). P-Ca induce aumento de citocininas y auxinas en ápices, las cuales posteriormente son trasladadas a tejidos en desarrollo como frutos (Ramírez *et al.*, 2003). Con base en esos reportes y lo observado en este trabajo, es probable que P-Ca y el resto de biorreguladores actúen en sinergia y con ello estimulen el aumento en el cuajado del fruto (Rademacher y Kober, 2003).

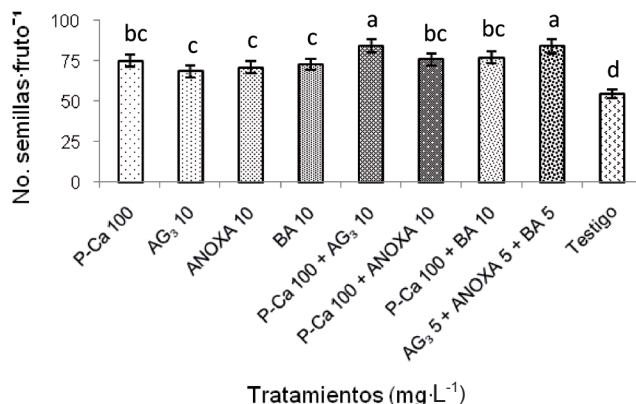


**FIGURA 3.** Efecto de biorreguladores en el cuajado de fruto de chile Mirador. Cada barra representa la media de cinco repeticiones  $\pm$  error estándar. Medias con la misma letra son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey, a una  $P \leq 0.05$ .

## Número de semillas

La Figura 4 muestra los efectos de los biorreguladores en el número de semillas en los frutos. Los tratamientos P-Ca 100 + AG<sub>3</sub> 10 mg·L<sup>-1</sup> y la combinación de AG<sub>3</sub> 5 mg·L<sup>-1</sup> + ANOXA 5 mg·L<sup>-1</sup> + BA 5 mg·L<sup>-1</sup> incrementaron significativamente ( $P \leq 0.05$ ) el número de semillas en frutos. P-Ca 100 mg·L<sup>-1</sup>, ANOXA 10 mg·L<sup>-1</sup>, BA 10 mg·L<sup>-1</sup> individual o combinados también causaron el mismo efecto. Se ha demostrado que la aplicación de diversos biorreguladores incrementa el número de semilla en frutos de chile (Sultana *et al.*, 2006). De igual manera, se ha demostrado que auxinas, giberelinas y citocininas asperjadas en manzano, se trasladan en mayores proporciones al saco embrionario de flores, ocasionando

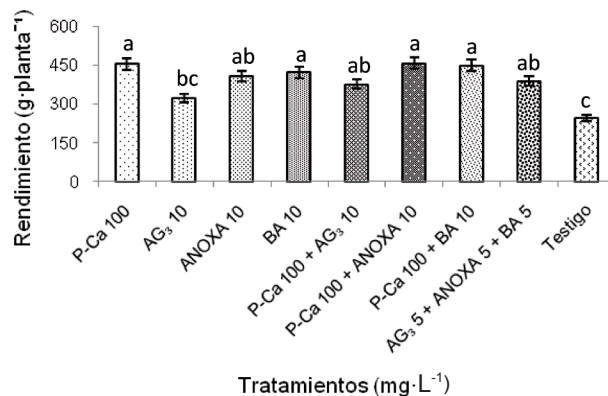
con esto un aumento en la fertilización de óvulos y por ende en mayor formación de semillas en el fruto (Ramírez *et al.*, 1983). Por otro lado, conocido el estímulo de P-Ca en la síntesis de auxinas y citocininas, se puede hipotetizar que los tratamientos aplicados, fortalecieron las condiciones fisiológicas de las flores, lo que pudo indicar mayor formación de semillas. Lo anterior ha sido recientemente demostrado en chile por Ozlem y Benian (2007).



**FIGURA 4.** Efecto de biorreguladores sobre el número de semillas de fruto de chile Mirador. Cada barra representa la media de cinco repeticiones  $\pm$  error estándar. Medias con la misma letra son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey, a una  $P \leq 0.05$ .

## Rendimiento por planta

El rendimiento por planta se incrementó en todos los tratamientos con los biorreguladores (Figura 5). P-Ca aplicado individual o en combinación con ANOXA o BA mostraron mayor producción. Lo mismo ocurrió con BA 10 mg·L<sup>-1</sup>. Estos resultados reflejan el aumento en el cuajado de fruto (Figura 3) causado por las hormonas referidas. Lo anterior se respalda con los efectos similares reportados en chile (Raviraja *et al.*, 2008; Sridhar *et al.*, 2009) y en tomate (Gemici *et al.*, 2006). La producción de frutos depende de la competencia por la acumulación de fotoasimilados y su distribución en las diferentes partes de la planta (Sridhar *et al.*, 2009). La respuesta de la planta a la aplicación de



**FIGURA 5.** Efecto de biorreguladores en el rendimiento por planta de chile Mirador. Cada barra representa la media de cinco repeticiones  $\pm$  error estándar. Medias con la misma letra son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey, a una  $P \leq 0.05$ .

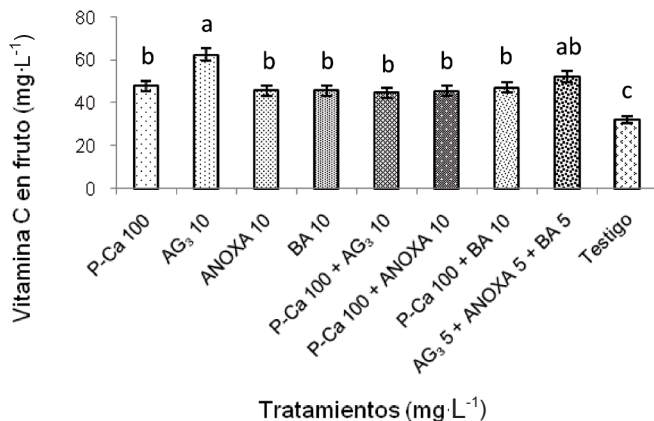


bioreguladores respecto a su producción de fruto, puede referirse en primera instancia a su contenido de auxinas, giberelinas y citocininas, las primeras por la disminución de las zonas de abscisión de los frutos, las segundas provocan una expansión celular y las terceras un aumento en la división celular (Salisbury y Ross, 1996; Ramírez-Luna *et al.*, 2005). En tomate se ha reportado un aumento sustancial en el rendimiento por planta cuando se aplicó P-Ca a dosis de  $175 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  (Ramírez *et al.*, 2005).

## Antioxidantes

### Vitamina C

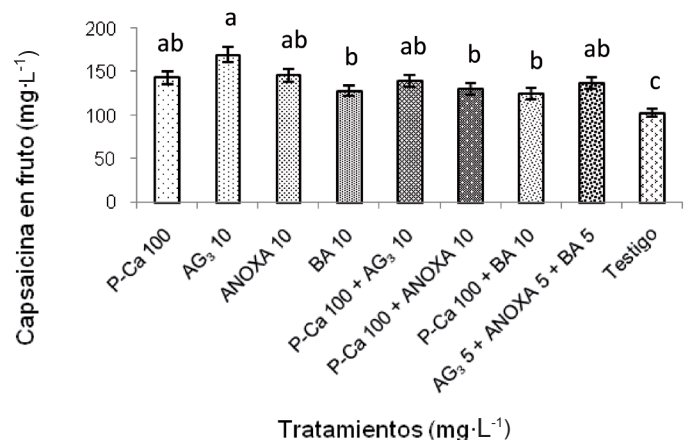
En relación al efecto de los bioreguladores en el contenido de vitamina C en frutos (Figura 6), se observó que  $\text{AG}_3$   $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y la combinación de  $\text{AG}_3$   $5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  + ANOXA  $5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  + BA  $5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  incrementaron significativamente ( $P \leq 0.05$ ) el contenido de este antioxidante. Los tratamientos P-Ca  $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , ANOXA  $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , BA  $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  individual o combinado también aumentaron significativamente ( $P \leq 0.05$ ) el contenido de vitamina C. La vitamina C es un antioxidante que contribuye a una buena salud en el humano y también fortalece el sistema de protección contra enfermedades como el cáncer, diabetes y presión arterial (Cruz-Pérez *et al.*, 2007). Por lo tanto, aumentos de vitamina C en frutos de especies hortícolas se considera una alternativa importante en la tecnología moderna (Ramírez, 2003). El aumento del ácido ascórbico observado en este estudio con los tratamientos hormonales se fortalece con previos reportes de efectos similares encontrados en chile y tomate con aplicaciones de  $\text{AG}_3$ , ANOXA, BA y P-Ca (Gil *et al.*, 2004; Dahal *et al.*, 2006; Sridhar *et al.*, 2009). El mecanismo de acción de estos bioreguladores en el proceso referido es limitado; sin embargo, se ha propuesto que los bioreguladores empleados podrían estar estimulando una mayor intensidad en la oxidación de la enzima ácido ascórbico oxidasa y por ende mayor síntesis de vitamina C (Chaudhary *et al.*, 2006). Con base en lo anterior, se requiere más investigación en esta línea.



**FIGURA 6.** Efecto de bioreguladores en el contenido de vitamina C en frutos de chile Mirador. Cada barra representa la media de tres repeticiones  $\pm$  error estándar. Medias con la misma letra son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey, a una  $P \leq 0.05$ .

### Capsaicina

Los bioreguladores aplicados aumentaron el contenido de capsaicina en frutos de chile Mirador (Figura 7). El tratamiento con  $\text{AG}_3$   $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  produjo el mayor incremento en este antioxidante ( $P \leq 0.05$ ), seguidos de las aplicaciones con P-Ca  $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , ANOXA  $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , P-Ca  $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  +  $\text{AG}_3$   $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y  $\text{AG}_3$   $5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  + ANOXA  $5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  + BA  $5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . En chile picante la concentración de capsaicinoides principalmente capsaicina y dihidrocapsaicina se incrementan continuamente desde el cuajado de fruto hasta su madurez fisiológica. Este proceso puede ser modificado como lo demostraron Ramírez *et al.* (2006) al estimular mayor contenido de capsaicina en chile jalapeño con la aplicación de P-Ca a  $175 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . Aunque el conocimiento sobre su mecanismo de acción en este proceso no ha sido definido, ellos hipotetizaron que P-Ca ejerce su efecto al modificar a nivel enzimático la ruta biosintética de los flavonoides, generando flavonoides modificados ligados a la actividad antioxidante en tejidos jóvenes. Esta declaración también es sustentada con las experiencias de aplicaciones de P-Ca, en acelga, col, brócoli y tomate (Ramírez *et al.*, 2007; Vázquez-Flota *et al.*, 2007). El efecto de  $\text{AG}_3$ , ANOXA y BA sobre el contenido de capsaicina en chile está poco documentada (Rademacher, 2004). En frutales como arándano, vid, manzano, cerezo y granado, se han reportado incrementos sustanciales en la concentración de antioxidantes como antocianinas y vitamina C, cuando se aplicaron estas hormonas en niveles de  $5\text{-}25 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  (Rademacher, 2004). Rademacher y Kober (2003) propusieron que los bioreguladores estudiados pudieron ejercer su acción al estimular cambios en el perfil de flavonoides ligados a la síntesis de los antioxidantes mencionados. Considerando esta experiencia con los resultados de este trabajo, es probable que el aumento en capsaicina ocasionado con los tratamientos con bioreguladores (Figura 7) pudiera haber tenido una ruta de acción similar. Por lo tanto se requiere investigar más este tema.



**FIGURA 7.** Efecto de bioreguladores en el contenido de capsaicina en frutos de chile Mirador. Cada barra representa la media de tres repeticiones  $\pm$  error estándar. Medias con la misma letra son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey, a una  $P \leq 0.05$ .

## CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos y bajo las condiciones en que se realizó esta investigación, se concluye lo siguiente: La aplicación en chile Mirador de Prohexadiona-Ca reduce la altura final de la planta. Prohexadiona-Ca combinado con AG<sub>3</sub>, ANOXA o BA incrementan el número total de flores, cuajado de fruto, número de semillas por fruto, rendimiento, contenido de vitamina C y capsaicina en frutos.

## LITERATURA CITADA

- BATLANG, U. 2008. Benzyladenine plus gibberellins (GA4+7) increase fruit size and yield in greenhouse-grown hot pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Biological Sciences* 8(3): 659-662.
- BENNET, D. J.; KIRBY, G. W. 1968. Constitution and biosynthesis of capsaicin. *Journal of the Chemical Society (C)*: 442-446.
- BLANUSA, T.; ELSE, M. A.; DAVIES, W. J.; ATKINSON, C. J. 2006. Regulation of sweet cherry fruit abscission: The role of photo-assimilation, sugars and abscisic acid. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 81(4): 613-620.
- CHAUDHARY, B. R.; SHARMA, M. D.; SHAKYA, S. M.; GAUTAM, D. M. 2006. Effect of plant growth regulators on growth, yield and quality of chilli (*Capsicum annuum* L.) at Rampur, Chitwan. *Journal of the Institute of Agriculture Animal Science* 27: 65-68.
- 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.
- CRUZ-PÉREZ, A. B.; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, V. A.; SOTO-HERNÁNDEZ, R. M.; GUTIÉRREZ-ESPINOSA, M. A.; GARDEA-BÉJAR, A. A.; PÉREZ-GRAJALEZ, M. 2007. Capsaicinoides, vitamina C y heterosis durante el desarrollo del fruto de chile manzano. *Agrociencia* 41: 627-635.
- DAHAL, K. C.; SHARMA, M. D.; DHAKAL, D. D.; SHAKYA, S. M. 2006. Evaluation of heat tolerant chilli (*Capsicum annuum* L.) genotypes in Western Terai of Nepal. *Journal of the Institute of Agriculture and Animal Science* 27: 59-64.
- 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.
- GEMICI, M.; BENGÜ, T.; KIT, T. 2006. Effects of 2,4-D and 4-CPA on yield and quality of the tomato, *Lycopersicon esculentum* Miller. *Journal of the Faculty of Science* 29: 24-32.
- GIL, M. I.; MARÍN, A.; FERRERES, F.; TOMÁS-BARBERAN, F. A. 2004. Characterization and quantitation of antioxidant constituents of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52(12): 3861-3869.
- HASANUZZAMAN, S. M.; HOSSAIN, S. M. M.; ALI, M. O.; HOSSAIN, M. A.; HANNAN, A. 2007. Performance of different bell pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes in response to synthetic hormones. *International Journal of Sustainable Crop Production* 2(5): 78-84.
- HEINS, R. D.; LIU, B.; RUNKLE, E. S. 2000. Regulation of crop growth and development based on environmental factors. *Acta Horticulturae* 514: 13-24.
- KAMARA, K. A. 2001. Nutrición, regulación del crecimiento y desarrollo vegetal. Memoria del Primer Simposio Nacional de Horticultura. 29 de octubre al 1ero. De noviembre del 2001. Saltillo, Coahuila, México. pp. 1-14.
- KHANIZADEH, S.; BUSZARD, D.; ZARCADAS, C. G. 1994. Effect of crop load on seasonal variation in chemical composition and spring frost hardiness of apple flower buds. *Canadian Journal of Plant Science* 69: 1277-1284.
- MARCELIS, L. F. M.; HEUVELINK, E.; BAAN HOFMAN-EIJER, L. R.; DEN BAKKER, J.; XUE, L. B. 2004. Flower and fruit abortion in sweet pepper in relation to source and sink strength. *Journal of Experimental Botany* 55(406): 2261-2268.
- MARLOW, D. 2009. Flores y frutos: Consejos para su prevención en chiles y tomates cultivados a campo abierto o en estructuras pasivas. *Revista Productores de Hortalizas*. Disponible en <http://www.hortalizas.com/pdhca/?storyid=1601> (Consultado el 21 de Junio, 2009).
- OWENS, L.; STOVER, E. 1999. Vegetative growth and flowering of young apple trees in response to prohexadione-calcium. *HortScience* 34(7): 1194-1196.
- OZLEM, A.; BENIAN, E. 2007. Pepper seed yield and quality in relation to fruit position on the mother plant. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 10(23): 4251-4255.
- 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. In: *Handbook of Antioxidants*. CADENZAS, E.; PACKER, L. (eds) 2nd edition. CRC Press. Washington DC, USA. pp 117-145.
- PANAJOTOV, N. D. 1997. Sweet pepper response to the application of the plant growth regulator atonic. *Acta Horticulturae* 462: 197-202.
- 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.; KOBER, L. 2003. Efficient use of prohexadione-ca in pome fruits. *European Journal of Horticultural Science* 68(3): 107-107.
- RADEMACHER, W. 2004. Chemical regulation of shoot growth in fruit trees. *Acta Horticulturae* 653: 29-32.
- RAMÍREZ, H.; RUMAYOR, A.; IÑIGUEZ, G.; VALADEZ, A. 1983. The effect of growth substances on fruit set in sweet cherry. *Acta Horticulturae* 137: 293-296.
- RAMÍREZ, H. 2003. El uso de hormonas en la producción de cultivos horticolas para exportación. Memoria del Tercer Simposio Nacional de Horticultura. Saltillo, Coahuila, México. pp. 1-22.
- RAMÍREZ, H.; GÓMEZ-CASTAÑEDA, J. C.; BENAVIDES-MENDOZA, A.; ROBLEDO-TORRES, V.; ENCINA-RODRÍGUEZ, L. I.; COELLO-COUTIÑO, C. A. 2003. Influencia de prohexadiona-ca sobre crecimiento vegetativo, producción y calidad de fruto en manzano (*Malus domestica* Borkh). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 9(2): 285-289.
- RAMÍREZ, H.; PERALTA-MANJARREZ, R. M.; BENAVIDES-MENDOZA, A.; SÁNCHEZ-LÓPEZ, A.; ROBLEDO-TORRES, V.; HERNÁNDEZ-DÁVILA, J. 2005. Efecto de prohexadiona-ca en tomate y su relación con la variación de la concentración de giberelinas y citocininas. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 11(2): 283-290.
- RAMÍREZ, H.; RANCAÑO-ARRIOJA, J. H.; BENAVIDES-MENDOZA, A.; MENDOZA-VILLARREAL, R.; PADRÓN-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.; HERRERA-GÁMEZ, B.; BENAVIDES-MENDOZA, A.; MENDOZA-VILLARREAL, R.; RANCAÑO-ARRIOJA, J.

- H.; VILLAREAL-QUITANILLA, J. A. 2007. Prohexadione-ca increases lycopene content and enzymatic activity during fruit ripening in tomato. International Plant Growth Substances Association. 19th Annual Meeting. Puerto Vallarta, México. p. 60.
- RAMÍREZ, H.; HERRERA-GÁMEZ, B.; MÉNDEZ-QUIROA, Y. H.; BENAVIDES-MENDOZA, A.; DE LA CRUZ-BRETÓN, J. A.; ÁLVAREZ-MARES, V.; RANCAÑO-ARRIOJA, J. H.; VILLAREAL-QUINTANILLA, J. A. 2008. Prohexadione 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-LUNA, E.; CASTILLO-AGUILAR, C. DE LA C.; ACEVES-NAVARRO, E.; CARRILLO-ÁVILA, E. 2005. Efecto de productos con reguladores de crecimiento sobre la floración y amarre de fruto en chile "Habanero". Revista Chapingo Serie Horticultura 11(1): 93-98.
- RAVIRAJA, S. G.; KRISHNA, M. R.; VISHWANATH, A. P.; KEMPEGOWDA, K.; RAGHAVENDRA. 2008. Influence of pruning and growth regulators on the shelf life of coloured capsicum (*Capsicum annuum* L.) CV. Bombi under greenhouse. Mysore Journal Agricultural Science 42(1): 33-37.
- SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. 1996. Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica. México, D. F. 759 pp.
- SAS, Institute. 2002. SAS/STAT. User's Guide. Release 9.00 ed. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina U.S.A.
- SRIDHAR, G.; KOTI, R. V.; CHETTI, M. B.; HIREMATH, S. M. 2009. Effect of naphthalene acetic acid and mepiquat chloride on physiological components of yield in bell pepper (*Capsicum annuum* L.). Journal Agriculture Research 47(1): 53-62.
- SULTANA, W.; FATTAH, Q. A.; ISLAM, M. S. 2006. Yield and seed quality of chilli (*Capsicum annuum* L.) as affected by different growth regulators. Bangladesh Journal of Botany 35(2): 195-197.
- VÁZQUEZ-FLOTA, F.; MIRANDA-HAM, M. L.; MONFORTE-GONZÁLEZ, M.; GUTIÉRREZ-CARBAJAL, G.; VELÁZQUEZ-GARCÍA, C.; NIETO-PELAYO, Y. 2007. La biosíntesis de capsaicinoides, el principio picante del chile. Revista Fitotecnía Mexicana 30(4): 353-360.
- WEAVER, R. J. 1996. Reguladores del crecimiento de las plantas en la agricultura. Octava reimpresión. Editorial Trillas. México. 622 pp.
- YUN-IM, K.; HARK-JOO, K.; SI-YOUNG, L.; HEE, C.; NAM-JUN, K.; BYOUNG-RYONG, J.; 2008. Changes of carbohydrates in pepper (*Capsicum annuum* L.) leaves and flowers under different irradiance and night temperature regimes. Horticulture Environment and Biotechnology 49(6): 397-402.