

P-Ca, AG_{4/7} y 6-BAP en la fisiología y nutrición de tomate en invernadero

Homero Ramírez^{1§}
Abdiel López-Fabian¹
Edmundo Peña-Cervantes¹
María Guadalupe Zavala-Ramírez¹
Alejandro Zermeño-González¹

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. CP. 25315. (lfabdiel@gmail.com; edmundo49mx@yahoo.com.mx; zara.mg@hotmail.com; azermenog@hotmail.com).

§Autor para correspondencia: hrr_homero@hotmail.com.

Resumen

El tomate es un cultivo de importancia mundial por su aportación en mano de obra, economía y calidad alimenticia. Estas características obligan a una continua búsqueda de tecnologías que contribuyan a mejorar el rendimiento y calidad del fruto. En este estudio se evaluó el efecto de biorreguladores en parámetros foliares, contenido de nutrientes, rendimiento y calidad del fruto en tomate saladette híbrido “Raptor-F1” en la UAAAN, Saltillo, Coahuila, durante abril-agosto de 2015, bajo condiciones de invernadero. Cuando las plantas mostraron primordios florales se realizó una primera aplicación foliar con atomizador manual a punto de rocío de los tratamientos: control (agua), P-Ca (50 mg L⁻¹), AG_{4/7} (50 mg L⁻¹), AG_{4/7} (100 mg L⁻¹), 6-BAP (50 mg L⁻¹), 6-BAP (100 mg L⁻¹), AG_{4/7} (50 mg L⁻¹)+6-BAP (50 mg L⁻¹) y AG_{4/7} (100 mg L⁻¹)+6-BAP (100 mg L⁻¹) y 15 días después, se realizó una segunda aplicación de las mismas dosis. Se estableció un diseño estadístico completamente al azar con diez repeticiones por tratamiento. Los resultados fueron analizados usando la prueba DMS ($p \leq 0.05$). P-Ca y 6-BAP a 50 mg L⁻¹ no modificaron los parámetros foliares y rendimiento por planta; sin embargo, aumentaron el nivel de potasio en hojas y de nitrógeno y calcio en frutos. 6-BAP a 50 mg L⁻¹ incrementó la materia fresca y seca, mientras que al combinarse con las giberelinas AG_{4/7} a 100 mg L⁻¹ aumentaron el contenido de vitamina C y licopeno en frutos. Se concluye que las concentraciones individuales o combinadas de P-Ca, AG_{4/7} y 6-BAP, favorecen la calidad del tomate saladette híbrido “Raptor-F1” en invernadero.

Palabras clave: citocininas, clorofila, prohexadiona-calcio, giberelinas, licopeno, minerales.

Recibido: marzo de 2018

Aceptado: mayo de 2018

Introducción

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.), actualmente es una de las hortalizas de mayor importancia en muchos países del mundo por el gran número de subproductos que se obtienen de él y las divisas que aporta a su economía. En México se destinan aproximadamente 80 000 hectáreas de invernadero para su cultivo (Betancourt y Pierre, 2013) por lo que es obligado desarrollar o adaptar tecnologías que permitan mejorar su rendimiento y la calidad del fruto sin provocar efectos adversos al medio ambiente.

El uso de biorreguladores en la agricultura se ha intensificado en años recientes para mejorar la producción y calidad de frutos a través de diversas acciones que ofrece esta tecnología. En varias investigaciones se ha descubierto que la bioactividad de los biorreguladores está directamente relacionada con un mejor enlace del biorregulador al sitio de recepción en la célula y una mayor capacidad reactiva en el punto de inducción al estimular o inhibir un proceso fisiológico. Esta característica los ubica como una excelente tecnología para incrementar la calidad y producción en términos de maduración temprana o tardía de frutos, mayor contenido de antioxidantes, vida de anaquel, traslocación de nutrientes e incluso el combate de plagas y enfermedades (Nickell, 1988).

La prohexadiona de calcio (P-Ca) es un retardante de crecimiento, que actúa a través de la inhibición de la síntesis de giberelinas biológicamente activas (A_1 , A_4 , y A_7) lo cual reduce el crecimiento vegetativo (Ramírez *et al.*, 2016a). Se ha reportado en Chile pimiento y cereza que P-Ca aumenta el contenido de citocininas en el meristemo apical, la cual está relacionada con la formación de flores y cuajado de los frutos (Ramírez *et al.*, 2010). Efectos similares han sido reportados en especies frutales de clima templado como pera, durazno y manzana (Ramírez *et al.*, 2003; Costa *et al.*, 2004a; Costa *et al.*, 2004b); sin embargo, poco se conoce sobre el efecto P-Ca, giberelinas $AG_{4/7}$ y de la citocinina 6-bencil amino purina (6BAP) en el cultivo de tomate.

Por lo anterior, en este estudio se planteó conocer los efectos que producen la prohexadiona de calcio giberelinas $AG_{4/7}$ y 6-bencilaminopurina en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo condiciones de invernadero.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México, en un invernadero con una estructura superior metálica cubierta con plástico blanco (calibre 720) en el techo y placas laterales de policarbonato. Como material vegetal se usaron plántulas de dos meses de tomate saladette de crecimiento indeterminado híbrido “Raptor-F1” las cuales fueron trasplantadas el 15 de abril de 2015 a bolsas de plástico negro con capacidad de 12 litros usando como sustrato: suelo, tezontle y perlita (2:1:2 v/v). Las bolsas fueron distribuidas a una distancia de 50 cm entre plantas y 75 cm entre filas, las condiciones climáticas dentro del invernadero se mantuvieron a 25 °C y 65% de humedad relativa durante el experimento. Se usó un sistema de riego por goteo de alto flujo en cada maceta, realizándose tres riegos diarios en diferentes horarios al día (9:00, 13:00 y 18:00 h), donde se aplicaron 900 ml de agua en cada maceta en cada riego efectuado, siendo esta cantidad el gasto por maceta al haberse efectuado una previa calibración. El cultivo se manejó a un tallo con las labores culturales tradicionales del departamento de horticultura en la UAAAN.

Los tratamientos con biorreguladores fueron los siguientes: control (agua), P -Ca (50 mg L⁻¹), AG_{4/7} (50 mg L⁻¹), AG_{4/7} (100 mg L⁻¹), 6-BAP (50 mg L⁻¹), 6-BAP (100 mg L⁻¹), AG_{4/7} (50 mg L⁻¹) + 6-BAP (50 mg L⁻¹) y AG_{4/7} (100 mg L⁻¹) + 6-BAP (100 mg L⁻¹). Cuando las plantas mostraron los primeros primordios florales el 18 de mayo de 2015 se realizó la primera aplicación foliar a punto de rocío utilizando un atomizador y 15 días después se realizó la segunda aplicación con los mismos tratamientos. El experimento se estableció en un diseño completamente al azar con 10 repeticiones por tratamiento.

Las variables evaluadas fueron: temperatura de la hoja, contenido de clorofila, transpiración foliar, fotosíntesis, eficiencia intrínseca, rendimiento, contenido de vitamina C y licopeno en frutos, contenido de minerales en hojas y frutos (N, P, K, Ca, y Mg) y biomasa fresca y seca total. Los datos de resultados se evaluaron con el análisis de varianza (Anova) y una prueba de medias DMS ($p \leq 0.05$) mediante el uso del programa estadístico R versión 2.14.2 para Windows 8.1.

Parámetros foliares

La temperatura (°C) y clorofila (Unidades SPAD) en hojas fueron medidas de manera simultánea con un termómetro digital Thermometer IR marca Radioshack y un Medidor de Clorofila SPAD 502 marca Konica Minolta respectivamente. Se tomó como referencia la hoja más joven y mejor desarrollada en cada planta. Se realizaron tres mediciones después de cada aplicación cada 5 días. La transpiración foliar (mmol H₂O m⁻² s⁻¹) y fotosíntesis (μmol CO₂ m⁻² s⁻¹) fueron obtenidas con un Medidor Portátil LI-COR Modelo LI-6400 TX, en hojas descritas anteriormente.

Estas mediciones se realizaron en dos ocasiones, 5 días después de la primera aplicación y 37 días después de la segunda aspersión. Finalmente, la eficiencia intrínseca del uso de agua ((μmolCO₂) (mmolH₂O)⁻¹) se obtuvo con la relación de fotosíntesis y transpiración foliar.

Rendimiento

El rendimiento total por planta resultó de la suma del peso de frutos cosechados en 10 cortes, utilizando una báscula marca Scout[®] Pro con una capacidad de 1 000 g.

Antioxidantes

El contenido de vitamina C en frutos se determinó usando el método reportado por Padayatt *et al.* (2001). Se maceró 10 g de pericarpio del fruto con 10 ml de ácido clorhídrico al 2% (v/v), posteriormente 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 de la solución y se titularon con 2,6-diclorofenolindofenol (1x10⁻³ N), hasta que la solución alcanzó un color rosa. El contenido de vitamina C se determinó utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Vitamina C (mg 100 g}^{-1}\text{)} = \frac{(\text{ml utilizados de 2,6 - diclorofenolindofenol} * 0.088 * \text{volumen total} * 100)}{(\text{Peso de la muestra} * \text{volumen de la alicuota})}$$

El contenido de licopeno se obtuvo de 3 g de peso fresco de pericarpio del fruto. Las muestras se colocaron en un mortero congelado que contenía 3 ml de amortiguador de fosfatos (pH 7) y se molió, de la mezcla obtenida se tomaron 2ml y se colocaron en tubos de centrifuga, se agregaron

4 ml de la mezcla hexano - acetona (3:2), se agitó la mezcla para separar y disolver los pigmentos de las membranas (Davis *et al.*, 2003), se centrifugó a 3 000 rpm durante 10 min para la separación de fases, se extrajo la fase coloreada y se cuantificó a una longitud de onda de 450 nm en un equipo de HPLC marca Varian, modelo 500-MS. Para cuantificar el contenido de licopeno en las muestras, se construyó una curva de calibración de licopeno estándar (Sigma, Co) con un rango de 0-40 mg ml⁻¹ previamente disuelto en la solución mencionada. Las muestras se compararon con la curva de calibración y el contenido de licopeno se determinó usando una ecuación de regresión lineal.

Contenido de minerales

Para el análisis de minerales (N, P, K, Mg y Ca) en frutos y hojas, se seleccionaron tres plantas al azar por cada tratamiento. El contenido de minerales en hojas se determinó al realizar tres muestreos en un intervalo de 20 días partiendo del inicio de la floración. La determinación de minerales en frutos se realizó en el primer corte cuando se tomaron 3 muestras al azar de las 10 repeticiones por tratamiento. El proceso de análisis de minerales correspondientes a Ca, Mg, K y P se realizó en dos etapas, la extracción y cuantificación. Para la extracción, las muestras fueron secadas en una estufa Modelo Felisa FE-291 a 70 °C durante 72 h, estas fueron molidas y un gramo de la muestra fue sometida al proceso de calcinación a 600 °C durante dos horas, las cenizas obtenidas se recuperaron con ácido clorhídrico 1:1 y se aforo a 100 ml con agua destilada. En la segunda fase la concentración de los minerales Ca, Mg, y K (mg kg⁻¹) se leyeron en un espectrofotómetro de absorción atómica Varian Spectra AA5, mientras que la concentración de fósforo (mg kg⁻¹). Se realizó obteniendo la absorbancia por fotolorimetría con una longitud de onda de 560 nm. El nitrógeno (%) se determinó utilizando el procedimiento modificado de la digestión del micro-Kjeldahl (Jones, 1991).

Biomasa total

Para determinar la biomasa (g) se realizó un muestreo destructivo de tres plantas seleccionadas al azar en cada tratamiento. Se pesaron las muestras en una balanza Scout[®] Pro con una escala 0 - 1 000 g para obtener peso fresco, posteriormente las plantas fueron colocadas en bolsas de papel estraza y puestas dentro de una estufa de secado marca Felisa FE 291 a 70 °C por cuatro días y luego se obtuvo el peso seco.

Resultados y discusión

Parámetros foliares

El efecto obtenido al aplicar biorreguladores sobre la temperatura de la hoja se muestra en la Figura 1. Los tratamientos individuales con giberelinas AG_{4/7} al compararse con el control, incrementaron significativamente la temperatura de la hoja (DMS $p \leq 0.05$), mientras que las aplicaciones con P-Ca y 6-BAP a 50 mg L⁻¹ mostraron la menor temperatura en el tejido. Ferreyra *et al.* (2002) han relacionado la temperatura de la planta con la evolución del estado hídrico de la misma; efecto que ellos relacionan con las variaciones de aporte de agua a los tejidos. Goldhamer *et al.* (1999); Matthews *et al.* (1987) indican que la temperatura de la planta está relacionada con el estrés hídrico de la atmósfera adyacente a la misma.

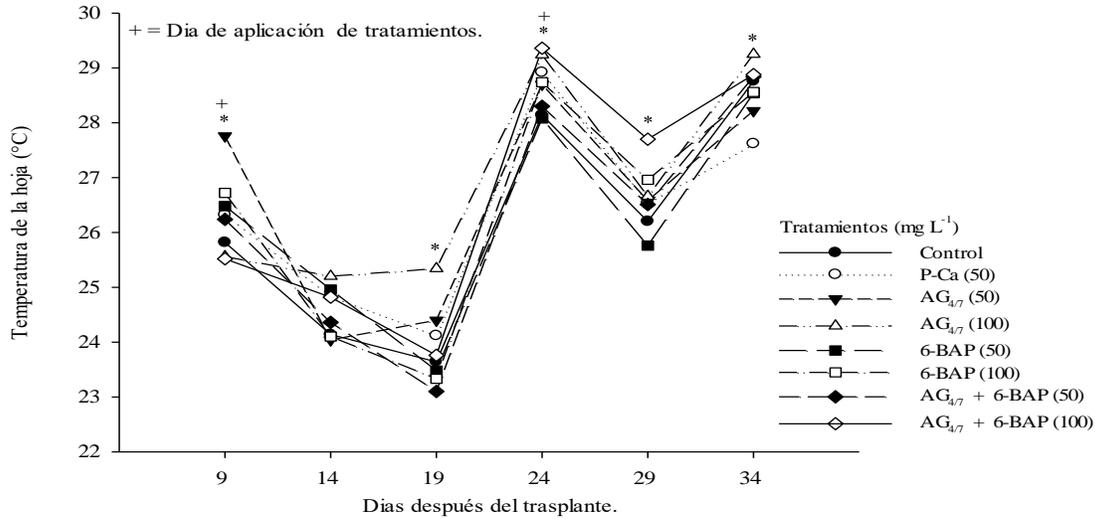


Figura 1. Efecto de biorreguladores en la temperatura de la hoja de plantas de tomate saladette híbrido “Raptor-F1”. Cada punto representa la media de diez repeticiones. *= diferencias estadísticas. DMS ($p \leq 0.05$).

Las giberelinas son hormonas que incrementan elongación celular originando un mayor flujo de agua hacia el tejido, condición que provocaría una mayor fluctuación de la temperatura de la hoja y manifestarse un déficit hídrico más rápido (Ramírez *et al.*, 2016a) tal y como se puede apreciar en el Cuadro 1 donde la eficiencia hídrica ($(\mu\text{molCO}_2) (\text{mmolH}_2\text{O})^{-1}$) que mostraron las plantas sometidas bajo tratamiento fueron menores al testigo en el primer muestreo. La P-Ca es un retardante vegetal que ocasiona en plantas un cierre parcial de estomas y por lo tanto una reducción en la pérdida de agua a través de la hoja (Rademacher, 2004) lo que ocasiona que esta hormona incremente ligeramente la temperatura de la hoja teniendo una eficiencia intrínseca del uso del agua ($(\mu\text{molCO}_2) (\text{mmolH}_2\text{O})^{-1}$) (Cuadro1) menor que el testigo.

Cuadro 1. Efecto de biorreguladores en la fotosíntesis, transpiración foliar y eficiencia hídrica en plantas de tomate saladette híbrido “Raptor-F1”.

Tratamientos (mg L ⁻¹)	Fotosíntesis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)		Transpiración foliar ($\text{mmolH}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)		Eficiencia intrínseca ($\mu\text{molCO}_2) (\text{mmolH}_2\text{O})^{-1}$)	
	5 DD1A	37 DD2A	5 DD1A	37 DD2A	5 DD1A	37 DD2A
Control	24.1006 a	11.0341 ab	9.4949 c	5.3013 a	2.5279 a	2.184 b
P-Ca(50)	23.9093 a	8.22962 b	10.1735 abc	3.9729 ab	2.3569 ab	2.5308 b
AG _{4/7} (50)	21.6628 ab	10.3904 ab	10.0333 abc	2.274 b	2.1703 bc	5.2571 a
AG _{4/7} (100)	20.006 ab	11.5683 ab	10.1711 abc	4.0577 ab	1.9596 cd	2.94 b
6-BAP(50)	21.9897 ab	10.8346 ab	10.7223 ab	4.9765 a	2.0441 c	2.1835 b
6-BAP(100)	16.7876 b	12.5993 a	9.589 bc	4.0472 ab	1.7597 d	3.149 b
AG _{4/7} +6-BAP(50)	23.7023 a	10.9025 ab	11.1604 a	3.7085 ab	2.135 bc	3.4587 b
AG _{4/7} +6-BAP(100)	19.3155 ab	10.1388 ab	9.9116 a	3.8445 ab	1.9542 cd	3.1022 b
CV (%)	14.89	21.68	9.71	38.64	11.5	48.67
SE	*	*	*	*	*	*

Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba DMS; *= diferencias significativas a $p \leq 0.05$; SE= significancia estadística; CV= coeficiente de variación; DD1A= días después de la primera aplicación. DD2A= días después de la segunda aplicación. Cada valor es el promedio de seis plantas.

El contenido de clorofila en las hojas de todos los tratamientos con biorreguladores fué menor que el control (Figura 2). Los niveles de clorofila en las hojas tratadas con P-Ca estuvieron cercanas al control. Bekheta *et al.* (2009) demostraron en plantas de haba que P-Ca a 10, 20 y 30 mg L⁻¹ aumentaron el contenido de pigmentos. Fletcher y Hofestra (1985) propusieron que la aplicación óptima de biorreguladores causan mejoras en diversas plantas vegetales como el aumento de niveles de clorofila y una amplia gama de cloroplastos. Los autores realizaron sus estudios con plantas a campo abierto. El presente estudio fue realizado en invernadero y con diferentes concentraciones de biorreguladores. La menor cantidad de clorofila observada entre ellos pudiera reflejar el concepto de concentración supraóptima reportada en otros cultivos (Rademacher, 2000).

Es importante señalar, que la clorofila es un factor de crecimiento exponencial en la planta que a menudo adopta una curva que crece a inicios del cultivo pero que suele disminuir al finalizar el ciclo de producción (Zermeño *et al.*, 2015). Este comportamiento natural se modificó al aplicar AG_{4/7} a 50 y 100 mg L⁻¹ y con la combinación de AG_{4/7} y 6-BAP a 50 y 100 mg L⁻¹. Se puede observar que días después de las aplicaciones, el verdor de las hojas (representadas en unidades SPAD) se reduce de forma inmediata y logró recuperarse 15 días después de la aplicación (Figura 2). P-Ca sigue un patrón natural de producción de clorofila, lo cual podría explicarse por su capacidad para inhibir la formación de giberelinas biológicamente activas (Ramírez *et al.*, 2003; Ramírez *et al.*, 2016a). Las plantas asperjadas con 6-BAP a concentraciones de 50 y 100 mg L⁻¹ mostraron valores menores a P-Ca; sin embargo, el comportamiento de la curva de clorofila no se vió afectada, esto concuerda con lo reportado por Ros *et al.* (2004) quienes observaron estas mismas tendencias al realizar aplicaciones de 6-BAP en un cultivo de algodón.

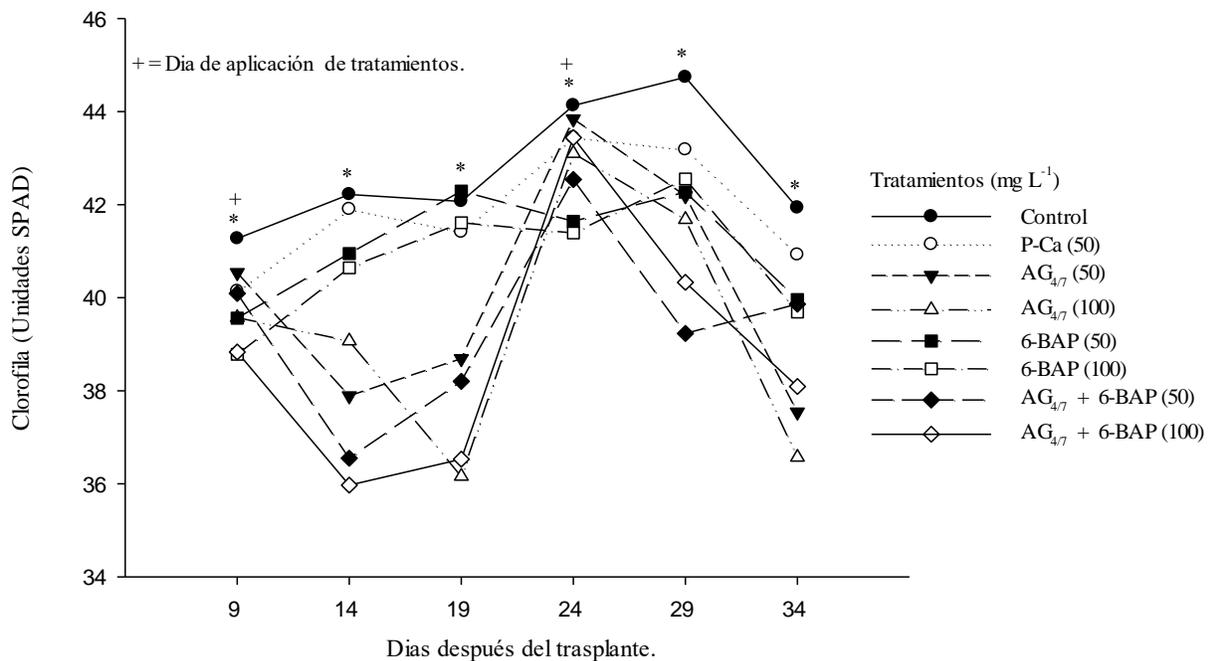


Figura 2. Efecto de biorreguladores en el contenido de clorofila de plantas de tomate saladette híbrido “Raptor-F1”. Cada punto representa la media de diez repeticiones; *= diferencias estadísticas (DMS $p \leq 0.05$).

En el Cuadro 1 se presentan los efectos de biorreguladores sobre la fotosíntesis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiración foliar ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y la eficiencia intrínseca del uso del agua ($(\mu\text{molCO}_2) (\text{mmolH}_2\text{O})^{-1}$) en hojas. Se observó, en la mayoría de los tratamientos con biorreguladores que no modificaron adversamente esos procesos fisiológicos y por lo tanto pueden ser considerados muy positivos para futuros estudios que permitan ampliar más el conocimiento sobre fotosíntesis y conductancia estomática en tomate bajo condiciones de invernadero.

Biomasa total

En la Figura 3 se presenta la biomasa fresca y seca total de los tratamientos. P-Ca y 6-BAP a 50 mg L^{-1} , fueron similares ($p \leq 0.05$) al control en la variable peso fresco total (PFT). En previas investigaciones P-Ca en dosis superiores a 100 mg L^{-1} incrementó el número de hojas, diámetro del tallo y número de entrenudos así como la biomasa fresca y seca de la planta (Ramírez *et al.*, 2016a). En manzano Golden Delicious también fue observada esta relación (Ramírez *et al.*, 2003). Esto evidencia el hecho de que P-Ca es un bloqueador de síntesis de giberelinas biológicamente activas (Rademacher, 2004) que actúa como retardante de crecimiento apical y estimula la síntesis de citocininas originando el incremento vegetativo de otros órganos de la planta (Costa, *et al.*, 2004a). Esa experiencia llevaría a considerar en el presente estudio el no efecto debido a baja dosis de esos biorreguladores empleados en tomate.

En peso seco total (PST) (Figura 3) se observó una diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos donde $\text{AG}_{4/7} + 6\text{-BAP}$ mostraron ser efectivos al aumentar la materia seca de las plantas. Estos efectos han sido observados en cacao por Cárdenas-Hernández *et al.* (2010) quienes evaluaron el efecto del ácido giberélico y la 6-bencilaminopurina sobre el desarrollo de yemas en injertos de esa especie. A nivel general estos resultados apoyan el postulado de que las giberelinas y 6-BAP promueven la elongación celular, aumentando el crecimiento de la planta (El Fouly *et al.*, 1988; Wilson-García *et al.*, 2007).

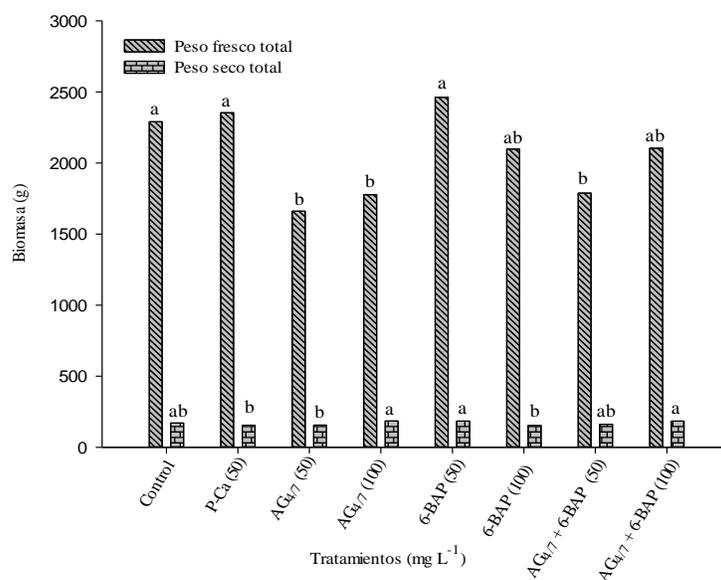


Figura 3. Influencia de biorreguladores en la biomasa fresca y seca total en plantas de tomate saladette híbrido “Raptor-F1”. Cada barra representa el promedio de diez repeticiones. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS $p \leq 0.05$).

La aplicación de cualquier biorregulador no alteró el contenido de N, Mg y Ca en hojas (Cuadro 2). De acuerdo a Gutiérrez (1997) el flujo de minerales en plantas es variado ya que depende de la disponibilidad y de la demanda entre órganos, así como la etapa fenológica de la misma; sin embargo, estos elementos son requeridos para el metabolismo de la planta ya que cumplen funciones estructurales en las moléculas orgánicas, en la reserva energética e iónica y reacciones redox (Aven *et al.*, 1992). En base a esas experiencias, los efectos en la fisiología del tomate observados en este estudio (Cuadro 2) son interesantes al no observar detrimento en los niveles de nutrientes.

En la mayoría de los tratamientos, el contenido de fósforo fue similar al control; mientras que, el contenido de potasio fue mayor en los tratamientos AG_{4/7}+ 6-BAP a cualquier dosis (Cuadro 2). La eficiencia de los biorreguladores en la nutrición vegetal ha sido relacionada con la translocación de nutrientes hacia determinados tejidos (Medjdoub *et al.*, 2002; Rademacher, 2004) en donde se puede causar un estímulo o inhibición de su aparición o desarrollo (Ramírez *et al.*, 2010).

Cuadro 2. Efecto de biorreguladores en el contenido de minerales en hojas de plantas de tomate saladette híbrido “Raptor-F1”.

Tratamientos (mg L ⁻¹)	N (%)	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)	Ca (mg kg ⁻¹)
Control	3.052 a	2562.7451 a	24466.66 ab	4383.33 a	36933.33 a
P-Ca(50)	3.2351 a	2669.4117 a	21800 b	4370 a	39800 a
AG _{4/7} (50)	3.3266 a	2563.5294 a	21233.33 b	4316.66 a	38000 a
AG _{4/7} (100)	3.2656 a	2447.4509 ab	22400 b	4366.66 a	36066.66 a
6-BAP(50)	3.0825 a	2561.1764 a	25100 ab	4340 a	35733.33 a
6-BAP(100)	3.0825 a	2463.9215 ab	23600 ab	4363.33 a	36566.66 a
AG _{4/7} +6-BAP(50)	3.113 a	2502.3529 ab	27800 a	4420 a	35266.66 a
AG _{4/7} +6-BAP(100)	3.1435 a	1960.3921 a	26800 a	4406.66 a	34500 a
CV	8.5004	20.7393	15.4744	2.2418	14.1219
SE	ns	*	*	ns	ns

Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba DMS; *= diferencias significativas a una $p \leq 0.05$; NS= diferencias no significativas a una $P \leq 0.05$; SE= significancia estadística; CV= coeficiente de variación. Cada valor representa el promedio de 6 plantas.

El Cuadro 3 muestra los niveles de nitrógeno acumulados en el fruto. Los tratamientos AG_{4/7} a 50mg L⁻¹ y AG_{4/7}+ 6-BAP a 100 mg L⁻¹ presentaron una mayor cantidad de este elemento superando al control en 2.1 y 8% respectivamente. Se ha demostrado que el nitrógeno está relacionado directamente con el contenido proteico y es también un promotor de la síntesis y producción de azúcar en los frutos (Kjellbom y Larsson, 1984). Un estudio realizado por Ramírez *et al.* (2016a) se demostró que AG_{4/7} a 100 mg L⁻¹ incremento el contenido de grados brix y firmeza y prolongó la vida de anaquel en los frutos. Lo anterior es relevante puesto que a mayor contenido de azúcar en el fruto existe la posibilidad de una menor vida de anaquel (Siller-Cepeda *et al.*, 2004).

El contenido de fósforo en frutos varió entre tratamientos (Cuadro 3). Los biorreguladores AG_{4/7} y 6-BAP a 100 mg L⁻¹ mostraron incrementos de 9.4 y 9.7% respectivamente con relación al control. Gutiérrez (1997) demostró que el fósforo es traslocado en mayor cantidad a los frutos cuando estos inician su desarrollo. El contenido de potasio no se vio afectado por los biorreguladores y mantuvieron niveles similares al control.

Cuadro 3. Efecto de biorreguladores en el contenido de minerales en frutos de tomate saladette híbrido “Raptor-F1”.

Tratamientos (mg L ⁻¹)	N (%)	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)	Ca (mg kg ⁻¹)
Control	2.7468 ab	2169.0196 abc	41233.33 a	1966.66 a	2200 abc
P-Ca (50)	2.6857 ab	2273.3333 ab	38133.33 a	1860 ab	2300 ab
AG _{4/7} (50)	2.8078 a	2053.7254 bc	35166.66 a	1686.66 b	1933.33 bc
AG _{4/7} (100)	2.5636 ab	2374.5098 a	37733.33 a	1770 ab	2233.33 ab
6-BAP (50)	2.5942 ab	1986.2745 c	36000 a	1720 ab	2366.66 a
6-BAP (100)	2.3805 b	2380 a	38300 a	1856.66 ab	2100 abc
AG _{4/7} +6-BAP (50)	2.7468 ab	2237.2549 ab	39800 a	1803.33 ab	1833.33 c
AG _{4/7} +6-BAP (100)	2.9604 a	2283.5294 ab	38600 a	1790 ab	2066.66 abc
CV (%)	12.8088	9.4362	14.1087	9.6691	15.7478
SE	*	*	ns	*	*

Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba DMS; * = diferencias significativas a una $p \leq 0.05$; SE = significancia estadística; ns = diferencias no significativas a una $p \leq 0.05$; CV = coeficiente de variación, cada valor representa el promedio de seis plantas.

Ramírez *et al.* (2010) demostraron que P-Ca no afecta los niveles de K en frutos de tomate de cascara. Barrera *et al.* (2008) reportó que el contenido de potasio en la planta oscila entre 2.7% y 4.5%, influye en la fotosíntesis, transporte de los carbohidratos y desempeña un papel importante como elemento antagonico del nitrógeno en frutos, además de que regula la entrada y el metabolismo de los nutrimentos. En medicina humana el potasio ocupa el tercer puesto dentro de los minerales que más actúan en nuestro organismo y desempeña un papel importante en la mayoría de las funciones vitales (Hopkinson *et al.*, 1998); sin embargo, Hobson y Davies (1980) indican que una alta concentración de potasio en fruto se asocia a una baja calidad del mismo.

Un ligero y menor contenido de magnesio en frutos resultó en la mayoría de los tratamientos con biorreguladores (Cuadro 3). Es posible que esta variación sea provocada por la concentración de hormonas utilizada y por el estado fisiológico del momento en el desarrollo-maduración del fruto. Gutiérrez (1997), menciona que el flujo de Mg en plantas es variado y depende de la disponibilidad y demanda entre órganos de la planta y la etapa de desarrollo de la misma. Por otro lado, Betancourt y Pierre (2013) señalan que el orden de extracción del Mg en tomate es de hoja > tallo > fruto > raíz, haciendo posible demostrar que la cantidad de Mg que se acumula en frutos depende de la cantidad almacenada en tallos y hojas.

Esto se refleja al comparar el Mg hallado en hojas (Cuadro 2) donde las plantas asperjadas con los biorreguladores fueron similares al control, condición que pudo provocar un envío desequilibrado de Mg hacia los frutos. Lo anterior, reflejaría la mayor cantidad de Mg observada en hojas al compararse con frutos. Estos datos coinciden con los publicados por Fayad *et al.* (2002) quienes reportaron una mayor acumulación de Mg en la parte vegetativa del tomate con relación al fruto.

Se puede observar que el contenido de calcio fue mayor en el tratamiento 6-BAP a 50 mg L⁻¹ (Cuadro 3) mientras que P-Ca a 50 mg L⁻¹ también mostró una tendencia mayor al control. Betancourt y Pierre (2013) observó que el nivel de Ca acumulado en frutos de tomate fue gradual

partiendo de hojas > tallos y que generalmente la acumulación en frutos suele ser muy baja, esto presumiblemente debido a que el Ca tiene poca movilidad en el floema, transportándose en la planta básicamente a través del xilema (Malone *et al.*, 2002). Es importante considerar entonces, que el alto nivel de Ca con 6-BAP y P-Ca al 50 mg L⁻¹ resalta el potencial de estos biorreguladores como buenas alternativas para incrementar la calidad en el fruto de tomate.

Rendimiento

La Figura 4 muestra que el rendimiento en los tratamientos 6-BAP y P-Ca en 50 mg L⁻¹ fue similar al testigo. Este comportamiento podría deberse al efecto concentración. Previa investigación (Ramírez *et al.*, 2010) reportan que la P-Ca a 200 mg L⁻¹ incremento el rendimiento 83% en tomate de cascara. Esta influencia que ha tenido P-Ca en aumentar el rendimiento, también se obtuvo en pera (Costa *et al.*, 2004a) y manzano (Greene, 1996; Unrath, 1999; Basak y Rademacher, 2000). El resto de los tratamientos tuvieron una tendencia a tener un rendimiento menor que el control. Este efecto puede reflejar mayor estímulo a desarrollo vegetativo el cual compitió con la formación floral y por lo tanto menos rendimiento (Rademacher, 2004).

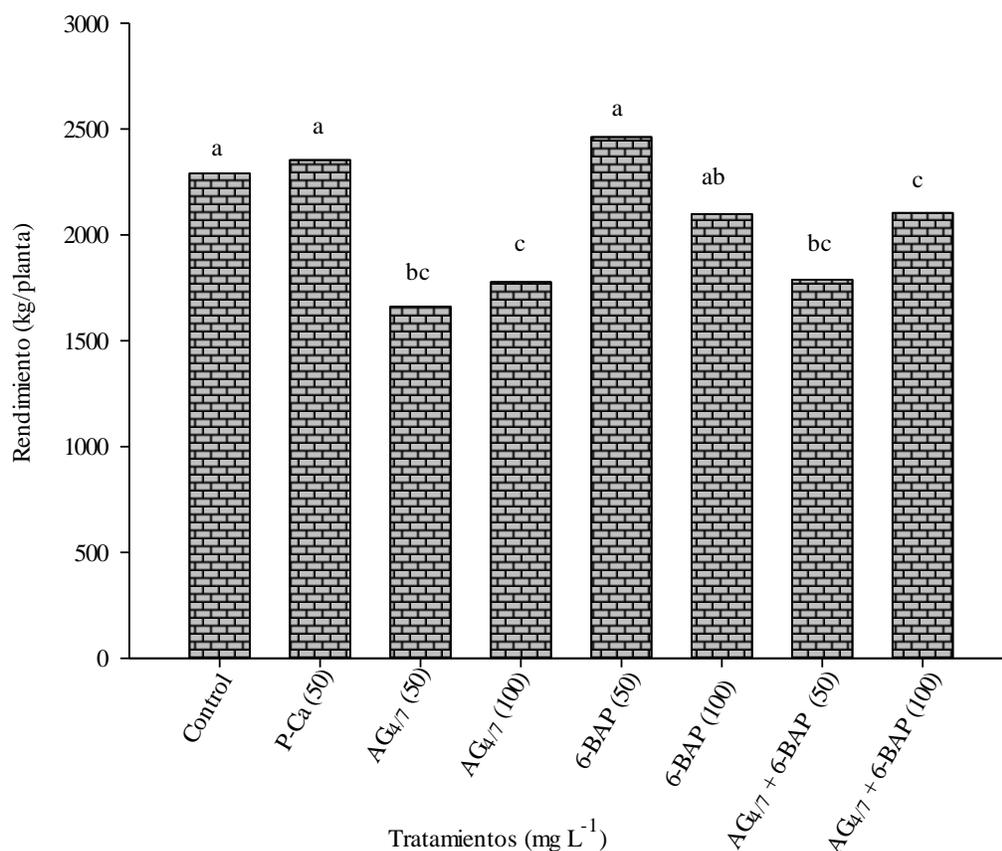


Figura 4. Influencia de biorreguladores en el rendimiento de plantas de tomate saladette híbrido "aport-F1". Cada barra representa el promedio de diez repeticiones. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS $p \leq 0.05$).

Antioxidantes

El efecto de los tratamientos sobre el contenido de licopeno y vitamina C en frutos de tomate se muestra en el Cuadro 4. La combinación de AG_{4/7} + 6-BAP a 100 mg L⁻¹ originó aumentos significativos en ambos antioxidantes; estos superaron al control en 55.4% y 47.8% en licopeno y vitamina C respectivamente. Las concentraciones individuales de AG_{4/7} mostraron mayor contenido de los dos antioxidantes; mientras que P-Ca también reflejo ese efecto para vitamina C.

Cuadro 4. Efecto de biorreguladores en el contenido de licopeno y vitamina C en frutos de tomate saladette híbrido “Raptor-F1”.

Tratamientos (mg L ⁻¹)	Licopeno (mg L ⁻¹)	Vitamina C (mg 100 g ⁻¹)
Control	3.2343 abc	14.485 b
P-Ca(50)	3.834 abc	15.625 ab
AG _{4/7} (50)	3.9233 ab	19.8 ab
AG _{4/7} (100)	2.618 bc	20.26 ab
6-BAP(50)	2.6376 bc	14.465 b
6-BAP(100)	1.7523 c	14.555 b
AG _{4/7} +6-BAP(50)	4.118 ab	20.61 ab
AG _{4/7} +6-BAP(100)	5.0263 a	21.41 a
CV (%)	66.4166	29.8391
SE	*	*

Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba DMS; * = diferencias significativas a una $p \leq 0.05$; CV= coeficiente de variación; SE= significancia estadística, cada valor representa el promedio de 10 plantas.

Previas investigaciones demuestran que P-Ca incrementa el contenido de vitamina C y licopeno en tomate rojo (Ramírez *et al.*, 2003) y chile habanero (Ramírez *et al.*, 2016b). Estos hallazgos permitieron catalogar a P-Ca como un retardante que incrementa el contenido de antioxidantes lo cual repercute en una buena salud en los seres humanos ya que fortalece el sistema inmunológico que da protección contra enfermedades como la diabetes, el cáncer y la presión arterial (Ramírez *et al.*, 2010). Poca información existe sobre el estímulo de giberelinas y citocininas en la síntesis de licopeno y vitamina C en tomate (Ramírez *et al.*, 2010). Por lo tanto, más investigación es necesaria sobre este tema.

El mayor contenido en licopeno y vitamina C observado en varios tratamientos con biorreguladores otorga un valor agregado al fruto. Esta característica permite un precio mayor en el mercado internacional que el de un tomate con niveles normales de esos antioxidantes (Ramírez *et al.*, 2016a), lo que compensa un rendimiento igual o quizás menor al del control.

Conclusiones

En tomate saladette híbrido “Raptor-F1” cultivado en invernadero, los biorreguladores P-Ca y 6-BAP a 50 mg L⁻¹ no alteran la fisiología foliar y rendimiento, incrementan el nivel de potasio en hojas y de nitrógeno y calcio en frutos. 6-BAP a 50 mg L⁻¹ incrementa la materia fresca y seca de la planta; al combinarse con las giberelinas AG_{4/7} a 100 mg L⁻¹ aumentan el contenido de vitamina C y licopeno en frutos.

Literatura citada

- Aven, P.; Evert, F. y Eichhorn, S. E. 1992. Biología de plantas. Vol. 2. Traducido al español por Santamaría, S.; Lloret, F.; Mas, M. y Cardona, M. Edit. Reverté. Barcelona, España. 773 p.
- Barrera, L.; Basilo, P.; Durango, P. y Ramos, A. 2008. Efecto de las épocas de lluvia y sequía sobre la absorción de potasio y fósforo en las plantaciones de plátano. *Acta Agron.* 57(1):55-59.
- Basak, A. and Rademacher, W. 2000. Growth regulation of pome and stone fruits trees by use of Prohexadione-Ca. *Acta Hortic.* 514:41-50.
- Bekheta, M.; Abdelhamid, M. and El-Morsi, A. 2009. Physiological response of *vicia faba* to prohexadione-Calcium under saline conditions. *Planta Daninha.* 27(49):769-779.
- Betancourt, P. y Pierre, F. 2013. Extracción de macronutrientes por el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill var. Alba) en casas de cultivo en Quibor. Estado de Lara. *Bioagro.* 25(3):181-188.
- Cárdenas-Hernández, J.; Álvarez-Herrera, J.; Barragan, E. y Rivera, C. 2010. Efecto del ácido giberélico y la 6-bencilaminopurina sobre el desarrollo de yemas en injertos de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Agron. Colomb.* 28(1):19-27.
- Costa, G.; Sabatini, E.; Spinelli, F.; Andreotti, C.; Spada, G. and Mazini, F. 2004a. Prohexadione-Ca control vegetative growth and cropping performance in pear. *Acta Hortic.* 653:43-48.
- Costa, G.; Sabatini, E.; Spinelli, F.; Andreotti, C.; Bomben, C. and Vizzotto, G. 2004b. Two years of application of prohexadione-Ca on apple: effect on vegetative and cropping performance, fruit quality, return bloom and residual effect. *Acta Hortic.* 653:35-40.
- Davis, A.; Fish, W. and Perkins-Veazie, P. 2003. A rapid hexane-free for analysing lycopene content in watermelon. *J. Food Sci.* 68(1):328-332.
- El Fouly, M.; Sakr, R.; Fouad, M.; Zaher, A. y Fawzi, A. 1988. Efecto de GA, CCC y B-9 en los personajes morfofisiológicos y el rendimiento de frijoles (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Crop Sci. Agron.* 160(1):94-101.
- Fayad, J.; Fontes, P.; Cardoso, A.; Finger, F. e Ferreira, F. 2002. Absorcao de nutrientes pelo tomateiro cultivado sob condicoes de campo e de ambiente protegido. *Hortic. Bras.* 20(1):90-94.
- Ferreira, E.; Selles, V.; Peralta, A.; Burgos, L. y Valenzuela, J. 2002. Efectos de la restricción del riego en distintos periodos de desarrollo de la vid CV. Cabernet sauvignon sobre producción y calidad del vino. *Agric. Téc.* 62(3):406-417.
- Fletcher, R. and Hofstra, G. 1985. Triadimefon a plant multi-protectant. *Plant Cell Physiol.* 26(4):775-780.
- Goldhamer, A.; E. Fereres, and Cohen, M. 1999. Sensitivity of continuous and discrete plant and soil water status monitoring in peach trees subjected to deficit irrigation. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 124:437-444.
- Greene, W. 1996. The use of BAS 125W to control growth of apple trees. *Proceedings PGRSA.* 24(2):283-286.
- Gutiérrez, M. 1997. Nutrición mineral de las plantas: avances y aplicaciones. *Agron. Costarric.* 21(1):127-137.
- Hobson, G. and Davies, J. 1980. The biochemistry of fruits and their products. Vol. 2. Academic Press Inc. Ed. A.C. Hulme. London and New York. 788 p.
- Hopkinson, D.; Bhabra, M. and Hooper, T. 1998. Pulmonary graft preservation: a worldwide survey of current clinical practice. *J. Heart Lung Transplant.* 17(22):525-531.
- Jones, J. 1991. Kjeldahl method for nitrogen determination. *MicroMacro Publ.*, Athens, GA. 79 p.

- Kjellbom, P. and Larsson, C. 1984. Preparation and polypeptide composition of chlorophyll-free plasma membranes from leaves of light-grown spinach and barley. *Physiol. Plant.* 62(4):501-509.
- Malone, M.; White, P. and Morales, M. 2002. Mobilization of calcium in glasshouse tomato plants by localized scorching. *J. Exp. Bot.* 53(336):83-88.
- Matthews, M.; Anderson, M. and Shultz, H. 1987. Phenologic and growth responses to early and late season water deficits in Cabernet franc. *Vitis.* 26:147-160.
- Medjdoub, R.; Bordonaba, M.; Pilar, A.; Val, J. y Blanco, A. 2002. Efecto del prohexadione-ca sobre el crecimiento y la nutrición del manzano. *In: Actas del IX Simposio Ibérico sobre Nutrición Mineral de las Plantas.* 10-13 septiembre, Zaragoza-España. 38:11-12.
- Nickell, L. G. 1988. Plant growth regulator use in cane and sugar production. *Update. Sugar J.* 50:7-11.
- Padayatt, J.; Daruwala, R.; Wang, Y.; Eck, P.; Song, J.; Koch, W. S. and Levine, M. 2001. Vitamin C: from molecular actions to optimum intake. *In: Handbook of antioxidants.* Cadenzas, E. and Packer, L. (Eds) 2nd edition. CRC press. Washington DC, USA. 117-145.
- Rademacher, W. 2000. Growth retardants: Effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant. Mol. Biol.* 51:501-531.
- Rademacher, W. 2004. Chemical regulation of shoot growth in fruit trees. *Acta Hort.* 653:9-15.
- Ramírez, H.; Gómez-Castañeda, J.; Benavides-Mendoza, A.; Robledo-Torres, V.; Encina-Rodríguez, L. y Coello-Coutiño, C. 2003. Influencia de Prohexadiona-Ca sobre crecimiento vegetativo-producción y calidad de fruto en manzano (*Malus domestica* Borkh). *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 9(2):279-289.
- Ramírez, H.; Rivera-Cruz, C.; Benavides-Mendoza, A.; Robledo-Torres, V. y Reyna-Sustaita, G. 2010. Prohexadiona-Ca, una alternativa en la producción de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 16(2):139-146.
- Ramírez, H.; Zavala-Ramírez, M.; Sánchez-López, A.; Aguilar-Zarate, P.; Cristóbal-Aguilar, N.; Rodríguez -García, R.; Jasso-Cantú, D. Zermeño-González, A.; Villareal-Quintanilla, J. and López-Fabián, A. 2016a. Tomato responses to bioregulators grown under greenhouse conditions. *Inter. J. Plant Soil Sci.* 10(6):1-13.
- Ramírez, H.; Mendoza-Castellanos, J.; Vázquez-Badillo, M. y Zermeño-González, A. 2016b. La prohexadiona de calcio (P-CA): una alternativa hormonal viable en chile habanero. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 7(3):631-641.
- Ros, A.; Gómez, P.; José, A. y Báidez, A. 2004. Incremento de la tolerancia frente a *Fusarium oxysporum* de plantas de algodón (var. Delta opalo) por tratamientos con 6-benzilaminopurina. *In: metabolismo y modo de acción de fitohormonas.* Ediciones Universidad de Salamanca. 231-236 pp.
- Siller-Cepeda, J.; Muy-Rangel, D.; Baez-Sañudo, M.; García-Estrada, R. y Araiza-Lizarde. 2004. Calidad en frutos de carambola (*Avrroha carambola* L.) cosechada en cuatro estados de madurez. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 10(1):23-29.
- Unrath, C. 1999. Prohexadione-Ca: a promising chemical for controlling vegetative growth of apples. *HortSci.* 34(7):1191-1200.
- Wilson-García, C.; Zavaleta-Mancera, A.; López-Delgado, H. y Hernández-Garay A. 2007. La citocinina BAP retrasa senescencia, aumenta antioxidantes, proteína y crecimiento del pasto ocillo (*Dactylis glomerata* L.). *Agrociencia.* 42(7):799-806.
- Zermeño, A.; López, B.; Melendrez, A.; Ramírez, H.; Cárdenas, J. y Munguía, J. 2015. Extracto de alga marina y su relación con fotosíntesis y rendimiento de una plantación de vid. *Rev. Mex. Cienc. Agríc. Núm. Esp.* 12:2437-2446.