

Efecto de las giberelinas en el rendimiento de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.)

Juan M. Pichardo-González^{1,3}
Lorenzo Guevara-Olvera¹
Yeny L. Couoh-Uicab¹
Leopoldo González-Cruz¹
Aurea Bernardino-Nicanor¹
Humberto R. Medina¹
Mario M. González-Chavira²
Gerardo Acosta-García^{1§}

¹Departamento de Ingeniería Bioquímica-Instituto Tecnológico de Celaya. Av. Tecnológico y A. García Cubas S/N. Col. Alfredo V. Bonfil, Celaya, Guanajuato. CP. 38010. (lorenzo.guevara@itcelaya.edu.mx; yeny-liz@yahoo.com.mx; leopoldo.gonzalez@itcelaya.edu.mx; aurea.bernardino@itcelaya.edu.mx; hramirez@conacyt.mx). ²Campo Experimental Bajío-INIFAP. Carretera Celaya-San Miguel de Allende km 6.5, Celaya, Guanajuato, México. CP. 38010. (gonzalez.mario@inifap.gob.mx). ³Centro Nacional de Recursos Genéticos-INIFAP. Blvd. de la Biodiversidad núm. 400, Tepatitlán de Morelos, Jalisco. CP. 47600. Tel. 01(800) 0882222, ext. 84825. (pichardo.juan@inifap.gob.mx).

§Autor para correspondencia: gerardo.acosta@itcelaya.edu.mx.

Resumen

El chile (*Capsicum annuum* L.) es un cultivo importante en México debido a su creciente demanda en los últimos años. Por lo que, se deben de buscar alternativas para aumentar su producción, una de ellas, es el uso de reguladores de crecimiento, de los cuales las giberelinas son importantes reguladores involucrados en el amarre y desarrollo de fruto, floración, elongación celular y expansión en plantas. Con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación de giberelinas (GA₃) en el rendimiento de chile jalapeño producido en invernadero, se realizó la presente investigación en dos experimentos sucesivos. En el experimento 1 se evaluaron cinco dosis de giberelinas: 0 (testigo), 10, 30, 50 y 500 mg L⁻¹ que se asperjaron en una y dos aplicaciones. La fertilización en este experimento fue con solución nutritiva (N, P, K y microelementos). En el experimento 2 se evaluaron las mismas dosis de GA₃, también en una y dos aplicaciones, pero la fertilización se realizó con nitrato de calcio y nitrato de potasio solubles en agua. En el experimento 1 no se detectó un incremento en el rendimiento. En cambio, en el experimento 2, la dosis de 10 mg L⁻¹ de GA₃ en combinación con la fertilización con nitrato de calcio y nitrato de potasio incrementó el rendimiento de chile jalapeño. Los resultados muestran a las giberelinas como elementos clave combinados con baja fertilización para incrementar la producción de chile.

Palabras clave: *Capsicum annuum* L., fertilización, fitohormonas, producción.

Recibido: mayo de 2018

Aceptado: junio de 2018

Introducción

El chile (*Capsicum annuum* L.) es una planta solanácea ampliamente cultivada en el mundo; la importancia de este cultivo se basa en los beneficios que ofrece. Es empleado como condimento, suplemento culinario, medicina, en cosméticos y planta ornamental (Ravishankar *et al.*, 2003; Hasan *et al.*, 2015). Además, el fruto de *Capsicum* tiene alto contenido de vitamina C, carotenoides y flavonoides (Kumar y Tata, 2009; Sun *et al.*, 2016). Globalmente, China es el más grande productor de chile, seguido por México (FAO, 2014).

El chile jalapeño es el chile de mayor importancia económica en gran parte por su pungencia intermedia, este es empleado tanto en fresco como seco. Varias estrategias han sido establecidas para incrementar la producción, una de ellas es mediante el empleo de fitohormonas (Heuvelink y Korner, 2008; De Jong *et al.*, 2009; Batlang *et al.*, 2016). Las fitohormonas son usadas ampliamente en la agricultura para incrementar el crecimiento de la planta y el rendimiento mediante el incremento en el número de frutos, establecimiento del fruto y su tamaño. La productividad en la horticultura depende frecuentemente de la manipulación del cultivo por químicos y esta es regulada por fitohormonas en los procesos del desarrollo de la planta (Canli *et al.*, 2014; Carneiro *et al.*, 2016; Kong *et al.*, 2016). Las giberelinas son fitohormonas que juegan funciones esenciales durante las etapas de desarrollo de la planta, que incluyen, germinación de la semilla, floración, senescencia del fruto, mejorar el rendimiento y el establecimiento del fruto, abscisión, regulación de algunos procesos metabólicos, y han sido relacionadas a la tolerancia a temperatura o a condiciones de estrés (Kazemi, 2014; Guang-Long *et al.*, 2015; Honda *et al.*, 2016).

Plantas de *Capsicum annuum* var. Bob-02 tratadas con citoquininas y ácido giberélico a concentraciones de 10, 15, 20 and 25 mg L⁻¹, esto incrementó el rendimiento del cultivo. El incremento en rendimiento es debido a que el ácido giberélico está asociado con un aumento en el peso fresco y longitud del fruto (Batlang, 2008; Sandoval-Oliveros *et al.*, 2017).

Otro estudio fue llevado a cabo para determinar el efecto de 2 ppm de 2,4-D, 5 ppm de triacontanol (TRIA), 40 ppm de NAA y 10 ppm de GA₃ sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivares chile Jwala y Suryamukhi. Se encontró que todos los tratamientos mostraron incremento de 28.75%, 25.70%, 13.61% y 2.30%, respectivamente, sobre el rendimiento comparado con el control. Por otro lado, la aplicación de GA₃ (10 ppm) aumentó la cantidad de ácido ascórbico en el fruto (Chaudhary *et al.*, 2006; Ramírez *et al.*, 2010).

El jalapeño es el chile con más demanda en el mundo. La importancia de este cultivo resalta la necesidad de incrementar el rendimiento por unidad de área en el campo e invernadero para obtener mayores beneficios económicos para los productores. La meta de este estudio fue determinar el efecto de diferentes concentraciones de GA₃ sobre el rendimiento de chile jalapeño variedad Huichol bajo condiciones de invernadero.

Materiales y métodos

El presente trabajo se llevó en dos experimentos sucesivos. El experimento 1 se estableció en un invernadero del Instituto Tecnológico de Celaya (ITC) y las evaluaciones se realizaron en el Laboratorio de Biología Molecular del ITC. La fecha de siembra fue el 2 de febrero de 2015 y el

ciclo del cultivo finalizó el 1 de agosto del mismo año. Se utilizó semilla de chile Jalapeño de la variedad “Huichol” proporcionada por El Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Guanajuato AC. (CESAVEG), la cual primeramente se puso a germinar sobre toallas de papel en charolas de plástico y en una cámara de crecimiento a una temperatura de 26 °C con 16 h luz y 8 h oscuridad. 15 d después de la siembra, las plántulas se trasplantaron a charolas de plástico de 50 cavidades con un sustrato compuesto de una mezcla de turba canadiense (“peat moss”), vermiculita y perlita expandida en una proporción de 3:1:1, respectivamente. Finalmente, 20 d después del primer trasplante éstas se volvieron a trasplantar a bolsas de plástico de 30 x 30 cm utilizándose la misma mezcla de sustratos en la misma proporción.

En este experimento se utilizó un diseño experimental de dos factores completamente al azar. El factor 1 correspondió a las concentraciones de GA₃ aplicadas a las plantas de chile: 0 mg L⁻¹, 10 mg L⁻¹, 30 mg L⁻¹, 50 mg L⁻¹ y 500 mg L⁻¹ y el factor 2 al número de aplicaciones de giberelinas al cultivo: 1 aplicación y 2 aplicaciones. La primera aplicación se realizó cuando las plantas alcanzaron la etapa de cuatro hojas verdaderas (42 d después de la siembra) y la segunda aplicación se realizó cuando las plantas estaban en la etapa de floración (87 d después de la siembra).

Los riegos se realizaron diariamente con una solución nutritiva 8-16, la cual se preparó disolviendo 100 mL de un fertilizante líquido comercial compuesto de 8 y 16 unidades de N y P, respectivamente, en 50 L de agua. Asimismo, se aplicaron microelementos cada 15 d. Se dosificaron 500 mL de solución nutritiva a cada planta. Las variables que se evaluaron fueron las siguientes: longitud de fruto, diámetro de fruto; peso fresco de fruto, peso fresco total, peso seco de frutos, peso seco total y número de frutos totales.

Para el experimento 2 se utilizó semilla de chile jalapeño de la misma variedad. La germinación de las semillas y los trasplantes de plantas fueron iguales que en el experimento 1. El trasplante de plántulas a charolas de 50 cavidades se realizó a los 15 d después de que se pusieron a germinar. El trasplante a bolsas de plástico se realizó a los 44 d después de que se realizó el primer trasplante.

Este experimento se implementó conforme a un diseño experimental de dos factores en bloques al azar. El factor 1 correspondió a las concentraciones de GA₃ aplicadas a las plantas de chile: 0 mg L⁻¹, 10 mg L⁻¹, 30 mg L⁻¹, 50 mg L⁻¹ y 500 mg L⁻¹ y el factor 2 al número de aplicaciones de GA₃ al cultivo: 1 aplicación y 2 aplicaciones. La primera aplicación de giberelinas se realizó a los 63 d después de la siembra y la segunda en la etapa de floración (89 d después de la siembra).

La aplicación de los riegos se realizó de igual manera que el experimento 1. La fertilización se realizó en cada riego a través de la aplicación de nitrato de potasio (KNO₃) y nitrato de calcio [Ca(NO₃)₂] solubles en agua. Se aplicaron 500 mL de agua a cada planta con los fertilizantes disueltos. Las variables que se evaluaron fueron las siguientes: número de frutos totales; peso fresco de frutos maduros; peso fresco de frutos totales; peso seco de frutos maduros; peso seco de frutos totales; altura final de planta, peso fresco de planta total y peso seco de planta total.

En ambos experimentos los análisis estadísticos se hicieron con el programa estadístico SAS (SAS Institute, 2002). Las comparaciones de medias se hicieron mediante Tukey ($\alpha=0.05$). Las gráficas se elaboraron con la hoja de cálculo Microsoft Excel 2007[®] (Microsoft Corp., USA).

Resultados y discusión

Para el experimento 1, se realizaron análisis de varianza de las variables de rendimiento (Cuadro 1), estos mostraron que el número de aplicaciones de GA₃ no afectó a ninguna de las variables evaluadas. Por el contrario, los tratamientos de aplicación de GA₃ afectaron ($p \leq 0.05$) al diámetro de fruto, así como ($p \leq 0.01$) a la longitud de fruto, al peso fresco de frutos, al peso fresco total, al peso seco de frutos, al peso seco total y al número de frutos totales. La interacción aplicaciones x tratamientos tampoco afectó a ninguna de las variables evaluadas.

Cuadro 1. Cuadrados medios y significancia estadística de variables de rendimiento del experimento 1.

FV	GL	LF	DF	PFFR	PFTOT	PSFR	PSTOT	NFTOT
AP	1	0.29 ns	0.13 ns	440.9 ns	101.9 ns	0.68 ns	0.45ns	20.5 ns
TR	4	2.8 **	0.34 *	21710.9 **	32589.9 **	358.3 **	1135.3 **	284.1 **
AP*TR	4	0.69 ns	0.24 ns	3254.6 ns	9425.4 ns	40.21 ns	367.7 ns	68.1 ns
Error	40	0.45	0.11	1890.5	6015.1	33.3	213.7	18
CV (%)		17.3	19.7	41.7	38.6	49.2	41.8	46.9

FV= fuentes de variación; AP= aplicaciones; TR= tratamientos con GA₃; CV= coeficiente de variación; GL= grados de libertad; LF= longitud de fruto; DF= diámetro de fruto; PFFR= peso fresco de frutos maduros; PFTOT= peso fresco total; PSFR= peso seco de frutos maduros; peso seco total; NFTOT= número de frutos totales. *, **= significativo con $p \leq 0.05$ y con $p \leq 0.01$, respectivamente; ns= no significativo.

Los resultados anteriores muestran que los tratamientos con GA₃ afectaron el rendimiento comercial y biológico de chile jalapeño variedad huichol producido en invernadero, ya que todas las variables estudiadas mostraron diferencias significativas. La aplicación de GA₃ reduce la caída de flores y frutos lo que incrementa la producción de chile, ya que aumenta el crecimiento de plantas y mejora el rendimiento por el incremento del número y amarre de frutos y el aumento de tamaño de estos (Batlang, 2008; Carneiro *et al.*, 2016; Mesejo *et al.*, 2016).

El incremento en el número de flores por planta por la aplicación de productos con fitoreguladores respecto al tratamiento testigo, puede ser debido a que los productos aplicados contienen giberelinas, las cuales son sustancias químicas capaces de promover la formación de flores en ciertas condiciones ambientales específicas de temperatura y luz que controlan su formación (Ramírez-Luna *et al.*, 2005).

La comparación de medias de Tukey (Cuadro 2), mostró que el tratamiento de GA₃ que presentó el mayor efecto en todas las variables evaluadas fue el tratamiento de 0 mg L⁻¹ (testigo) siguiendo en orden descendente en cuanto a la respuesta los tratamientos de 10 mg L⁻¹, 30 mg L⁻¹, 50 mg L⁻¹ y 500 mg L⁻¹; es decir, hay mayor efecto de la dosis más baja (sin GA₃) a la dosis más alta. Por ello, el tratamiento control (0 mg L⁻¹) mostró el mayor rendimiento de frutos seguido del de 10 mg L⁻¹ el cual es estadísticamente similar a este. El comportamiento anterior se atribuye a que en este experimento se suministró una fertilización óptima con macro y micronutrientes en el cultivo, lo que contribuyó en gran medida a un mayor amarre de frutos y el efecto de las giberelinas fue mayormente dirigido al follaje.

Cuadro 2. Comparación de medias de Tukey de variables de rendimiento del experimento 1.

Tratamiento	LF	DF	PFFR	PFTOT	PSFR	PSTOT	NFTOT
0 mg L ⁻¹	4.4 a	1.8 a	172.3 a	277.5 a	21.04 a	49.9 a	25.1 a
10 mg L ⁻¹	4.2 a	1.8 a	128.8 ab	240.2 ab	13.9 ab	41.2 ab	22.4 ab
30 mg L ⁻¹	3.8 ab	1.7 ab	86.5 bc	189.2 ab	10 bc	32.5 ab	15.1 ab
50 mg L ⁻¹	3.7 ab	1.6 ab	79.7 bc	151.9 b	7.5 bc	26.4 b	14.1 b
500 mg L ⁻¹	3.1 b	1.3 b	53.9 c	145.4 b	6.1 c	24.3 b	13.5 b
DMS	0.8	0.4	55.5	99	7.3	18.6	10.8
CV (%)	17.3	19.7	41.6	38.6	49.1	41.8	46.9
Promedio	3.9	1.7	104.3	200.8	11.7	34.9	18

DMS= diferencia mínima significativa; CV= coeficiente de variación; LF= longitud de fruto; DF= diámetro de fruto; PFFR= peso fresco de frutos; PFTOT= peso fresco total; PSFR= peso seco de frutos; PSTOT= peso seco total; NFTOT= número de frutos totales. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Con relación a lo anterior, Ramírez-Luna *et al.* (2005) mencionan que en Chile ‘Habanero’ la mayor inducción de amarre de flor y fruto por la aplicación de productos evaluados sin alguno de los tres principales fitoreguladores, se atribuyó a la influencia de otros componentes en los productos como, macro y micro nutrientes, así como a la presencia de otros compuestos, que contribuyeron a tener plantas más sanas y bien desarrolladas. Estos mismos autores señalan que el producto llamado Maxigrow presenta niveles muy altos de N, P, K y Ca que pueden participar en la formación endógena de hormonas en la planta, induciendo con ello una mayor floración. Heuvelink y Körner (2001) señalan que el peso fresco de frutos de Chile pimiento cosechados de plantas tratadas con auxinas fue siempre más bajo que el testigo.

Como se mencionó anteriormente, algunos resultados de otros autores coinciden en que el amarre de frutos también puede estar fuertemente influenciado por la formación de hormonas endógenas inducidas por los niveles de elementos nutricionales como N, P y K que tienen algunos productos comerciales usados en la producción de Chile. En este experimento la solución nutritiva empleada en el riego fue la que tuvo los macroelementos como el N y P y la adición del K a través del nitrato de potasio soluble en agua a dicha solución, además de la adición de microelementos, por lo que se puede considerar que en el experimento 1 el N, P, K y microelementos jugaron un papel importante en el comportamiento de las variables, de tal forma que la fertilización influyó mayormente en el rendimiento que la aplicación de GA₃ en diferentes dosis. En relación a lo anterior no hay resultados reportados en la literatura que muestren las dosis de N, P, K y otros elementos que al ser combinadas con giberelinas provoquen que no se note su efecto, como en el presente trabajo, por lo que habrá que estudiar estos comportamientos en investigaciones futuras.

Los valores mayores de la variable longitud de fruto (Cuadro 2) fueron 4.4 y 4.2 cm para la concentración de 0 mg L⁻¹ y 10 mg L⁻¹, respectivamente; estos fueron estadísticamente similares. De igual manera, los mayores valores de la variable diámetro de fruto fue 1.8 cm para la concentración de 0 mg L⁻¹ y 10 mg L⁻¹. Las aplicaciones de 0 mg L⁻¹ y 10 mg L⁻¹ mostraron la mejor respuesta en estas variables, ya que presentaron los frutos más grandes y de mayor longitud.

Con base a los resultados del experimento 1, se realizó la evaluación del experimento 2. Los análisis de varianza de las variables de rendimiento y biológicas evaluadas en el segundo experimento (Cuadro 3), mostraron que los tratamientos de GA₃ afectaron ($p \leq 0.01$) al número de frutos totales,

al peso fresco de frutos maduros, al peso fresco de frutos totales, al peso seco de frutos maduros, al peso seco de frutos totales, a la altura final de planta y al peso seco de planta total. El peso fresco de planta total no mostró diferencias significativas. Por otra parte, el número de aplicaciones afectó ($p \leq 0.01$) al peso fresco de frutos maduros, al peso fresco de frutos totales, al peso seco de frutos maduros y al peso seco de frutos totales. Asimismo, la interacción tratamientos x aplicaciones afectó ($p \leq 0.01$) solamente al número de frutos totales.

Cuadro 3. Cuadrados medios y significancia estadística de variables de rendimiento y biológicas del experimento 2.

FV	GL	NFTO	PFFRM	PFFRT	PSFRM	PSFRT	AFPL	PFPLT	PSPLT
T	4	675.3**	25020.5**	21461.3**	206.3**	307.1**	1922.6**	14409.6ns	2303.3**
AP	1	8.7ns	73478.6**	81894.6**	254.7**	438.4**	444.4ns	12807.8ns	195.9ns
T*AP	4	263.3**	2128.2ns	3108.7ns	1.9ns	25.9ns	220.4ns	2387.8ns	248.8ns
Error	78	54.3	2143.9	2583.9	26.6	53.1	213.2	5799.8	164.5
CV (%)		33.4	34.5	30.9	38.3	40.7	17.7	24.7	27.7

FV= fuente de variación; T= tratamientos con GA₃; AP= aplicaciones, CV= coeficiente de variación; GL= grados de libertad; NFTO= número de frutos totales; PFFRM= peso fresco de frutos maduros; PFFRT= peso fresco de frutos totales; PSFRM= peso seco de frutos maduros; PSFRT= peso seco de frutos totales; AFPL= altura final de planta; PFPLT= peso fresco de planta total; PSPLT= peso seco de planta total. *, **= significativo con $p \leq 0.05$ y con $p \leq 0.01$, respectivamente; ns= no significativo.

La comparación de medias de Tukey de los tratamientos de GA₃ (Cuadro 4), mostraron que con el tratamiento de 500 mg L⁻¹ se obtuvo el mayor número de frutos totales (27.6 frutos), la mayor altura final de planta (92 cm) y el mayor peso seco de planta total (58.2 g). Por otro lado, el mayor peso fresco de frutos maduros se obtuvo con el tratamiento de testigo 0 mg L⁻¹ con 169.4 g. En tanto que con el tratamiento de 10 mg L⁻¹ de GA₃ se obtuvo el mayor peso de peso fresco de frutos totales (199.6 g), el mayor peso seco de frutos maduros (18.1 g) y el mayor peso seco de frutos totales (23.4 g). Esto puede deberse al mayor número de flores producidas que amarraron en frutos.

Cuadro 4. Comparación de medias de Tukey de variables de rendimiento y biológicas de chile jalapeño del experimento 2.

Factores	NFTO	PFFRM	PFFRT	PSFRM	PSFRT	AFPL	PSPLT
Tratamientos de GA ₃							
0 mg L ⁻¹	12.1 c	169.4 a	178.4 ab	12.9 bc	14.3 c	65.5 b	27.7 b
10 mg L ⁻¹	20.3 a	164.6 a	199.6 a	18.1 a	23.4 a	81 a	47 a
30 mg L ⁻¹	24.3 ab	142.9 ab	183.5 ab	15.5 ab	21.2 ab	86.6 a	51.5 a
50 mg L ⁻¹	25.7 ab	112.6 bc	145.5 bc	10.6 c	15.7 bc	87.8 a	46.7 a
500 mg L ⁻¹	27.6 a	80.7 c	113.3 c	10 c	14.9 bc	92 a	58.2 a
Número de aplicaciones							
1 aplicación	21.7 a	162.6 a	194.2 a	15.1 a	20.1 a	80.4 a	44.7 a
2 aplicaciones	22.3 a	105.5 b	133.9 b	11.7 b	15.7 b	84.8 a	47.7 a
CV (%)	33.4	34.5	30.9	38.3	40.7	17.7	27.7
Promedio	22	134.1	164.1	13.4	17.9	82.6	46.2

NFTO= número de frutos totales; PFFRM= peso fresco de frutos maduros; PFFRT= peso fresco de frutos totales; PSFRM= peso seco de frutos maduros; PSFRT= peso seco de frutos totales; AFPL= altura final de planta; PSPLT= peso seco de planta total; CV= coeficiente de variación. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Al respecto Ouzounidou *et al.* (2010) señalan que el GA₃ mostró mejores resultados que otros reguladores de crecimiento en cuanto a la altura de planta y número de frutos por planta. Por otra parte, Ramírez-Luna *et al.* (2005) mencionan que en invernadero las plantas alcanzaron mayor altura, permitiendo a la planta incrementar su ramificación y como consecuencia tuvieron una mejor posibilidad de producir una mayor cantidad de flores por una reducción en el porcentaje de pérdida de estas. Sin embargo, aunque las plantas con mayor dosis de GA₃ mostraron la mayor altura, el mayor peso seco de planta y el mayor número de frutos por planta (mayor amarre), el tamaño y peso de frutos fue menor que los otros tratamientos.

Lo anterior, puede ser debido a que las plantas de esta concentración destinan la mayor cantidad de asimilados a la elongación de tallos, formación y crecimiento de hojas y otros órganos y no a frutos. De lo anterior se puede deducir que las dosis bajas de ácido giberélico son las adecuadas para obtener un equilibrio entre amarre y tamaño de frutos.

Como se mencionó anteriormente, en el experimento 2 la dosis de 10 mg L⁻¹ de GA₃ fue la que mostró la mejor respuesta en las variables de rendimiento como peso fresco de frutos totales que fue superior en 12% respecto al testigo, peso seco de frutos maduros superior a 29% respecto al testigo y peso seco de frutos totales superior 39% respecto al testigo, posiblemente porque esta dosis es la adecuada para favorecer el amarre de frutos de chile jalapeño producido en invernadero y para que estos también sean de mayor tamaño. Estos resultados coinciden con una de las dosis que evaluó Batlang (2008) y quien señala que concentraciones de 10, 15, 20 y 25 mg L⁻¹ de accel (BA más GA₄₊₇) incrementaron el rendimiento en chile y este rendimiento fue influenciado por el incremento en el peso de fruto fresco y longitud de fruto, así como el tamaño de fruto y se atribuyó a las giberelinas y su papel en la división celular.

De igual manera, Abd y Faten (2009) señalan que aplicación foliar de GA₃ a una concentración de 25 mg L⁻¹ de GA₃ produjo el mayor rendimiento total de chile pimiento producido en campo abierto. Estos últimos autores también mencionan que el papel principal del GA₃ es en el crecimiento de plantas y rendimiento de frutos, lo cual es debido a la elongación y aumento de tejidos en las plantas lo que da como resultado el incremento de los componentes de rendimiento del cultivo.

Por su parte Ouzounidou *et al.* (2010); Chaudhary *et al.* (2006) encontraron que hubo una mejora en el crecimiento y rendimiento en chile con la aplicación GA₃ comparado con el control y atribuyeron que esta mejora puede ser debida a una más eficiente utilización de asimilados para crecimiento reproductivo (floración y amarre de fruto), una más alta eficiencia fotosintética, un aumento de la fuente en la planta, una reducción en la respiración, aumento en la translocación y la acumulación de azúcares y otros metabolitos.

En el presente trabajo el incremento en el rendimiento, se debió básicamente al peso de los frutos (Cuadro 4) y al tamaño de frutos (datos no presentados) lo que coincide con Batlang (2008), quien señala que el incremento debido a los tratamientos de reguladores de crecimiento fue generalmente acompañado con el incremento en el peso fresco de frutos y la longitud de frutos. Como se puede observar, en el presente trabajo no se evaluaron otras dosis intermedias entre 10 y 30 mg L⁻¹, pero de acuerdo a los resultados de Batlang (2008); Abd y Faten (2009) y a nuestros resultados, es

posible que la dosis adecuada para que las giberelinas tengan buena respuesta en el cultivo de chile está entre el rango de 10 a 30 mg L⁻¹ de GA₃, por lo que en investigaciones posteriores se pueden realizar evaluaciones de estas dosis para conocer su efecto en el rendimiento.

El experimento 2 también mostró que la distribución de la materia seca en los frutos fue mayor en el tratamiento testigo (0 mg L⁻¹) con el 52% del total de la materia seca seguida en orden descendente de los otros tratamientos con 50%, 41%, 34% y 26% para las dosis de 10, 30, 50 y 500 mg L⁻¹, respectivamente (Cuadro 4). Estos resultados demuestran que la mayor cantidad de asimilados destinados para el crecimiento del fruto correspondió al testigo y conforme aumentó la dosis de GA₃ hubo una disminución en la partición de asimilados destinados para el crecimiento del fruto.

Posiblemente las plantas tratadas con giberelinas destinan asimilados en forma proporcional con el aumento en la dosis de GA₃ para la elongación de tallos, crecimiento de hojas y otros órganos de las plantas, lo que provoca que disminuya la proporción de asimilados que se pudieran destinar para el crecimiento de frutos. Sin embargo, en esta investigación a pesar de que, en el tratamiento testigo, el peso seco de frutos totales representa la mayor proporción de la materia seca, este fue menor a todos los tratamientos con giberelinas. Resultados similares encontraron Heuvelink y Körner (2001) en plantas de chile tratadas con auxinas exógenas ya que solamente 50% del total de peso seco fue distribuido a frutos comparado con 58% para las plantas del tratamiento control.

En lo que respecta al número de aplicaciones de GA₃ (Cuadro 4), se encontró que una sola aplicación de giberelinas mostró la mejor respuesta en el peso fresco de frutos maduros (162.6 g), en el peso fresco de frutos totales (192.4 g), en el peso seco de frutos maduros (15.1 g) y en el peso seco de frutos totales (20.1 g). Por su parte Ouzounidou *et al.* (2010) indican que la aspersión de GA₃ a plantas de chile en intervalos de dos y tres semanas después de la germinación incrementa el rendimiento y se mejora la calidad de *Capsicum*. Sin embargo, en esta investigación se encontró que una sola aplicación de GA₃ con la dosis más baja (10 mg L⁻¹) es suficiente para observar un efecto en el rendimiento, no habiendo diferencia significativa en la etapa de aplicación ya que la primera fue a los 61 d y la segunda a los 83 d (etapa de floración). Posiblemente esta diferencia en los resultados se debe al tipo de chile con diferente respuesta.

Como se describió en el apartado de materiales y métodos, la fertilización proporcionada en este experimento fue a base de nitrato de potasio (KNO₃) y nitrato de calcio [Ca(NO₃)₂] solubles en agua y aplicados a las raíces, el N en conjunto con el GA₃ contribuyó al rendimiento del cultivo.

En el experimento 2 se observa que el GA₃ tiene mayor efecto en el rendimiento que la fertilización, aunque se demerita la función que tienen el N, P y K y otros elementos mayores y menores en las plantas de chile, ya que el rendimiento obtenido en el experimento es resultado del efecto conjunto de giberelinas y fertilización. Belakbir *et al.* (1998) encontraron que la aplicación de GA₃ a chile pimienta aumentó la concentración de Ca en los frutos confiriéndoles firmeza. Cabe mencionar que en general los frutos cosechados en el presente trabajo presentaron gran firmeza en ambos experimentos, resultado que puede atribuirse al Ca aplicado en la fertilización.

Por su parte Azofeifa y Moreira (2008) encontraron que el nutrimento que fue absorbido por plantas de chile Jalapeño a lo largo del ciclo del cultivo fue el K, seguido en orden decreciente por el N, Ca, S, P y Mg. Asimismo, señalan que al final del ciclo, la planta acumula K, Ca y Mg

principalmente en la parte aérea y la regulación de este comportamiento está regulado por el evento de fructificación. Por todo lo anterior, se puede inferir que la aplicación del nitrato de calcio en la fertilización contribuyó en gran medida junto con el GA₃ en el rendimiento y la calidad de chile jalapeño en este trabajo.

Finalmente, al comparar las variables de rendimiento de peso fresco y peso seco de frutos totales en ambos experimentos, se encontró que el valor del peso fresco de frutos totales del experimento 2 con la dosis de 10 mg L⁻¹ de GA₃ fue superior 14% con respecto al experimento 1 con la dosis de 0 mg L⁻¹ de GA₃ (testigo). De igual forma, el valor del peso seco de frutos totales del experimento 2 con la dosis de 10 mg L⁻¹ de GA₃ fue superior al del experimento 1 en un 10% con la dosis de 0 mg L⁻¹ de GA₃ (testigo). Los resultados anteriores muestran que con una dosis baja de GA₃ y una fertilización con nitrato de potasio y nitrato de calcio se obtienen rendimientos superiores que utilizando la solución nutritiva en la producción de chile jalapeño en invernadero. Lo anterior, podría ofrecer una ventaja a los productores en el ahorro de insumos agrícolas, ya que se abaratarían los costos de producción para obtener una buena producción en el cultivo de chile (Sun *et al.*, 2016).

Como ya mencionó, en el presente trabajo la dosis de GA₃ que mostró la mejor respuesta con una fertilización a base de KNO₃ y Ca(NO₃)₂ fue la de 10 mg L⁻¹, que es la más baja que se evaluó, por lo que esta se recomienda para emplearse en la producción de chile jalapeño en invernadero. Sin embargo, se necesita seguir realizando investigación en la combinación de dosis de GA₃ con las dosis de fertilización para generar conocimiento en estos aspectos y con ello obtener un paquete tecnológico de producción para este cultivo.

Conclusiones

Los resultados de este trabajo podrían considerarse para una producción comercial, ya que la giberelinas podrían emplearse como un insumo que combinado con una fertilización relativamente baja podría ayudar a aumentar el rendimiento, lo que finalmente redundaría en un ahorro significativo en los insumos agrícolas.

Literatura citada

- Abd, E. and Faten, S. 2009. Effect of urea and some organic acids on plant growth, fruit yield and its quality of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). Res. J. Agric. Biol. Sci. 5(4):372-379.
- Azofeifa, A. and Moreira, M. A. 2008. Nutrient uptake and partitioning in jalapeño pepper plants (*Capsicum annuum* L. cv. Hot) in Alajuela, Costa Rica. Agron. Costarric. 32(1):19-29.
- Batlang, U. 2008. Benzyladenine plus gibberelins (GA₄₊₇) increase fruit size and yield in greenhouse-grown hot pepper (*Capsicum annuum* L.). J. Biol. Sci. 8(3):659-662.
- Batlang, U.; Emongor, V. E. and Pule-Meulenburg, F. 2006. Effect of Benzyladenine and gibberellic acid on yield and yield components of Cucumber (*Cucumis sativus* L cv Tempo). J. Agron. 5(3):418-423.
- Canli, F. A.; Sahin, M.; Termutas, N. and Pektas, M. 2014. Improving fruit quality of apricot by means of preharvest benzyladenine and benzyladenine plus gibberellins applications. Horttechnology. 24(4):424-427.

- Carneiro-Dos Santos, R.; Toledo-Pereira, M.; Sauza-Mendes, D.; Soares-Sobral, R. R.; Nietsche, S.; Polete-Mizobuti, G. and Dos Santos, B. H. 2016. Gibberellic acid parthenocarpy and increases fruit size in the “Geftor” custard apple (*Annona cherimola* x *Annona squamosa*). *Austr. J. Crop Sci.* 10(3):314-321.
- Chaudhary, B. R.; Sharma, M. D.; Shakyra, S. M. and Gautam, D. M. 2006. Effect of plant growth regulators on growth, yield, and quality of chili (*Capsicum annuum* L.) at Rampur, Chitwan. *J. Institute Agric. Animal Sci.* 27:65-68.
- De Jong, M.; Mariani, C. and Vriezen, W. H. 2009. The role of auxin and gibberellin in tomato fruit set. *J. Exp. Bot.* DOI 10.1093/jxb/erp094.
- FAO. 2014. FAOSTAT ProdSTAT crops: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible en <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>.
- Hasan, R.; Mahmudul, H.; Kamal, H. and Nazmun, A. 2015. Assessment of genetic divergence in Chilli (*Capsicum annuum* L.) genotypes. *Plant Gene Trait.* 6(3):1-5.
- Heuvelink, E. and Körner, O. 2001. Parthenocarpic fruit growth reduces yield fluctuation and blossom-end rot in sweet pepper. *Annals Bot.* 88(1):69-74.
- Honda, I.; Matsunaga, H.; Kikuchi, K.; Matuo, S.; Fukuda, M. and Imanishi, S. 2016. Involvement of cytokinins, 3-indolacetic acid and gibberellins in early fruit growth in pepper (*Capsicum annuum* L.). *Hortic. J.* Doi 10.2503/hortj. MI-120.
- Kazemi, M. 2014. Effect of gibberellic acid and potassium nitrate spray on vegetative growth and reproductive characteristics of tomato. *J. Biol. Environ. Sci.* 8(22):1-9.
- Kong, L.; von Aderkas, P. and Zaharia, L. I. 2016. Effects of exogenously applied gibberellins and thidiazuronon phytohormone profiles of long-shoot buds and cone gender determination in lodgepole pine. *J. Plant Growth Regul.* 35(1):172-182.
- Kumar, O. A. and Tata, S. S. 2009. Ascorbic acid contents in chili peppers (*Capsicum* L.). *Notulae Sci. Biol.* 1(1):50-52.
- Mesejo, C.; Yuste, R.; Reig, R.; Martínez-Fuentes, A.; Iglesias, D. J.; Muñoz-Fambuena, N.; Bermejo, A.; Germanà, M. A.; Primo-Millo, E. and Agustí, M. 2016. Gibberellin reactivates and maintains ovary-wall cell division causing fruit set in parthenocarpic citrus species. *Plant Sci.* 247:13-24.
- Ouzounidou, G.; Ilias, I.; Giannakaoula, A. and Papadopoulou, P. 2010. Comparative study on the effects of various plant growth regulators on growth, quality and physiology of *Capsicum annuum* L. *Pak. J. Bot.* 42(2):805-814.
- Ramírez, H.; Amado-Ramírez, C.; Benavides-Mendoza, A.; Robledo-Torres, V. and Martínez-Osorio, A. 2010. Prohexadione-Ca, GA₃, anoxa and BA modify physiological and Biochemical indicators in mirador chilli. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 16(2):83-89.
- Ramírez-Luna, E.; Castillo-Aguilar, C.C.; Aceves-Navarro, E. y Carrillo-Ávila, E. 2005. Efecto de productos reguladores de crecimiento sobre la floración y amarre de fruto en chile ‘Habanero’. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 11(1):93-98.
- Ravishankar, G. A.; Suresh, B.; Giridhar, P.; Rao, S. R. and Johnson, T. S. 2003. Biotechnological studies on *Capsicum* metabolite production and plant improvement. *In: De, A. K. (Ed.). Capsicum: the genus Capsicum.* London, CRC Press. 96-128 pp.
- Sandoval-Oliveros, R.; Guevara-Olvera, L.; Beltrán, J. P.; Gómez-Mena, C. and Acosta-García, G. 2017. Developmental landmarks during floral ontogeny of jalapeño chili pepper (*Capsicum annuum* L.) and the effect of gibberellin on ovary growth. *Plant Reprod.* 30(3):119-129.
- Sun, C.; Li Y.; Zhao, W.; Song, X.; Lu, M.; Li, X.; Li, X.; Liu, R.; Yan, L. and Zhang, X. 2016. Integration of hormonal y nutritional cues orchestrates progressive corolla opening. *Plant Physiol.* 171(2):1209-1229.