

EFFECTO DEL ÁCIDO SALICÍLICO Y LA NUTRICIÓN MINERAL SOBRE LA CALIDAD DE PLÁNTULAS DE CHILE HABANERO¹

Adolfo Guzmán-Antonio², Lizette Borges-Gómez², Luis Pinzón-López², Esauí Ruiz-Sánchez², José Zúñiga-Aguilar³

RESUMEN

Efecto del ácido salicílico y la nutrición mineral sobre la calidad de plántulas de chile habanero. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del ácido salicílico y la fertilización con N, P y K en el crecimiento y estado nutricional en plántulas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). La investigación se desarrolló en Yucatán, México en noviembre de 2008 y diciembre de 2009. Se evaluó el efecto del ácido salicílico y la fertilización química utilizada por productores de plántulas de chile habanero con cuatro tratamientos: T1) sin ácido salicílico y sin fertilización; T2) aplicación de 10⁻⁸ M de ácido salicílico; T3) aplicación de 190 mg/l de cada nutrimento de NPK y T4) aplicaciones de 10⁻⁸ M de ácido salicílico más 190 mg/l de NPK. La calidad de las plántulas se evaluó midiendo características de crecimiento de vástago (hojas + tallo) y raíz. Se analizó también N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Zn y Mn en la plántula completa. Se estimó la esbeltez y el índice de calidad de Dickson. Los resultados mostraron diferencias ($P \leq 0,05$) en las variables del vástago. La fertilización favoreció la acumulación de materia seca. En cuanto a altura, número de hojas, diámetro de tallo y área foliar, T3 y T4 fueron iguales. En raíz, se observaron diferencias en densidad de peso y de longitud, materia seca, área y longitud específica reportando valores altos con T3, excepto longitud específica; siendo T4 quien mostró mayor valor. El análisis nutrimental fue significativo ($P \leq 0,05$); T3 mostró mayor contenido de N, P, Ca, Mg y Mn. Para K, Zn y Fe los tratamientos T3 y T4 fueron iguales, solamente Cu fue mayor con T4. En conclusión, la aplicación de ácido salicílico favoreció algunas características de crecimiento pero no mejoró significativamente la calidad de las plántulas.

Palabras clave. *Capsicum chinense*, composición nutrimental.

ABSTRACT

Effect of the salicylic acid and nutrition on quality of habanero pepper seedlings. The objective of this study was to evaluate the effect of salicylic acid and N P K fertilization on the growth and mineral status of habanero pepper seedlings (*Capsicum chinense* Jacq.). The study was developed in Yucatan, Mexico in November 2008 and December 2009. Seedlings were exposed to four treatments: T1) without salicylic acid and fertilization; T2) application of 10⁻⁸ M salicylic acid; T3) application of 190 mg/l de NPK and T4) application of 10⁻⁸ M of salicylic acid + 190 mg/l of NPK. The quality of seedlings was evaluated by measuring growth characteristic of shoot and root. The content of N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Zn and Mn was analyzed in whole seedlings. The slenderness and the index of quality of Dickson were also considered. The results showed significant differences ($P \leq 0.05$) on shoot growth. Applications of fertilizer caused increase on shoot dry weight. Plant height, number of leaves, stem diameter, and foliar area were not significantly different between T3 and T4. Significant differences were observed on root dry weight, specific root length, root weight density and root length density. All variables except specific root length were significantly higher with the fertilizer treatment. The latest had the highest value in the treatment T4. Significant differences ($P \leq 0.05$) were observed in tissue mineral content. Seedlings treated with T3 showed the highest content of N, P, Ca, Mg and Mn. The content of K, Zn and Fe was not significantly different between T3 and T4. In conclusion, the application of salicylic acid favored seedling growth but it did not improve significantly the quality of habanero pepper seedlings.

Key words: *Capsicum chinense*, nutrimental composition.

¹ Recibido: 15 de enero, 2012. Aceptado: 9 de octubre, 2012. Este trabajo forma parte de la tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura Tropical del primer autor.

² División de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico de Conkal. Km 16.3 antigua carretera Mérida-Motul. Conkal, Yucatán, México. CP 97345. adolfoalberto10@hotmail.com; lizette_borges@hotmail.com (autor para correspondencia); lpinlo@yahoo.com.mx; esauruizmx@yahoo.com.mx;

³ Centro de Investigación Científica de Yucatán, México. zuniga@cicy.mx

INTRODUCCIÓN

Los chiles pertenecen al género *Capsicum*, de la familia Solanácea. Existen 27 especies de *Capsicum* de las cuales cinco son domesticadas y cultivadas: *C. annum*, *C. baccatum*, *C. chinense*, *C. frutescens* y *C. pubescens*. El chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) ocupa el primer lugar en producción en Yucatán con una superficie de producción de 262,22 ha a cielo abierto y de 41,14 ha en invernadero (SIAP 2011). El chile habanero se utiliza como fruto fresco o procesado en forma de curtidos, enlatados, pastas, salsas y congelados (González *et al.* 2006). Otro uso importante del chile es la aplicación de la capsicina en el tratamiento de la salud (Maggi 1992, Vergara *et al.* 2006).

Uno de los mayores retos en la producción del chile habanero es contar con plántulas sanas, vigorosas y de excelente calidad al momento del trasplante (Preciado *et al.* 2002). Las hormonas endógenas juegan un papel importante en el crecimiento y desarrollo en la parte aérea y radical (Wang *et al.* 2009); en las plantas, se reconocen cinco tipos de hormonas de crecimiento: auxinas, citoquininas, giberelinas, ácido abscísico y etileno. Además, existen otras sustancias que pueden clasificarse como fitohormonas: brasinoesteroides, ácido salicílico, jasmonato y óxido nítrico (McSteen y Zhao 2008). Los brasinoesteroides, auxinas, ácido salicílico y ácido giberélico promueven el crecimiento de las plantas mientras que el etileno y ácido abscísico lo suprimen (Savaldi-Goldstein *et al.* 2007).

El ácido salicílico (AS) además de favorecer el crecimiento vegetal, está involucrado en diversos procesos fisiológicos tales como termogénesis, resistencia a patógenos, inducción a la floración, el crecimiento de raíces y absorción de nutrimentos (Hayat *et al.* 2007, Larqué-Saavedra y Martín-Mex 2007). No obstante, también existen reportes sobre el efecto inhibitorio del AS en el crecimiento de raíces como una respuesta alelopática (Shettel y Balke 1983). Entre los efectos benéficos del AS se tiene los reportados por Villanueva *et al.* (2009) en crisantemos (*Chrysanthemum morifolium*) en donde se favoreció el crecimiento de la planta en diámetro y altura; Gómez y Cepeda (2010) reportaron los beneficios del AS en canola al reducirse las necesidades de riego además de aumentar el número de silicuas y de granos. Por otra parte, Gallego *et al.* (2011) mencionan que los niveles de AS son inversamente proporcionales a los niveles de

lignina y al crecimiento en algunas plantas, señalando que el AS es un componente central en el crecimiento al reducir la formación de carbohidratos en la membrana celular. Se ha mencionado la importancia de las aplicaciones del AS en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Sin embargo, no existen documentos que evidencien el efecto del AS y la fertilización química sobre la calidad de plántulas de chile habanero.

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del ácido salicílico y la fertilización con N, P y K en el crecimiento y estado nutricional en plántulas de chile habanero (*C. chinense* Jacq.).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en el Instituto Tecnológico de Conkal (IT-Conkal) y en el Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY) durante el periodo de noviembre 2008 a diciembre 2009.

La germinación de las semillas y el desarrollo de las plántulas se realizó en el CICY ubicado en la Ciudad de Mérida 20°58'N y 89°37'O a una altitud de 8 msnm; se utilizaron semillas de chile habanero (*C. chinense* Jacq.) variedad Naranja, las cuales fueron germinadas en una estructura aislada con una malla antiáfidos con dimensiones de 1,40 x 2 m colocada dentro de un invernadero a un intervalo de temperatura y humedad relativa registradas en 24 h entre 20 y 30°C y 80% respectivamente. Para su germinación se utilizaron bandejas de poliestireno de 200 cavidades, las cuales fueron desinfectadas con hipoclorito de sodio al 1% durante 15 min. Se utilizó sustrato comercial elaborado para la germinación de semillas, el cual está conformado de turba, perlita y piedra caliza. Cada celda fue llenada con el sustrato y se colocó superficialmente una semilla por celda; posteriormente se mantuvieron cubiertas con plástico negro para mantener la temperatura y humedad hasta el desarrollo del embrión; el tiempo transcurrido desde la siembra hasta la formación del embrión fue de cuatro días, momento en que fue retirada la cubierta; a los nueve días todas las semillas habían germinado.

Los tratamientos evaluados fueron: T1) sin aplicaciones de ácido salicílico y sin fertilización (0AS+0F); T2) con aplicación de ácido salicílico (AS); T3 con aplicación de fertilizante químico (F) y T4) con aplicación de ácido salicílico y fertilizante (AS+F). La dosis de fertilización fue la comúnmente utilizada por

los productores de plántulas (solución con 190 mg/l de cada nutrimento N-P₂O₅-K₂O). Para ello se aplicó por aspersión 320 ml por bandeja para los tratamientos T3 y T4 lo que corresponde a 1,6 ml/planta. La aplicación del fertilizante se realizó cada cinco días a partir de los quince días después de la germinación (DDG) haciendo un total de siete aplicaciones y un volumen total de solución de 2,25 l por bandeja. La edad de las plántulas para la aplicación de la fertilización fue a los 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 DDG. La dosis de AS (10⁻⁸ M) y el volumen aplicado por aspersión (200 ml de la solución), se eligieron de acuerdo a las recomendaciones sugeridas por Villanueva-Couoh *et al.* (2009) y Larqué-Saavedra *et al.* (2010). El volumen aplicado por planta de AS fue de 1 ml y los días de aplicación fueron a los 17, 22, 24 y 26 DDG. Los días en que no se realizaron aplicaciones de los tratamientos las plántulas fueron regadas con agua únicamente.

Para el desarrollo del experimento se utilizó un total de ocho bandejas, dos por tratamiento, para un total de 1600 plántulas, teniendo así 400 plántulas por tratamiento. La distribución de estos se realizó de acuerdo a un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Cada una estuvo representada por 120 plantas para hacer un total de 360 por unidad experimental, dejando 40 plantas para el efecto de borde. Para la evaluación de los tratamientos se utilizaron 30 plántulas por fecha programada de muestreo, para un total de 90 utilizadas para las variables destructivas.

Variables evaluadas. Se realizaron muestreos destructivos a los 30, 40 y 50 DDG. Las fechas fueron elegidas considerando un tiempo de respuesta del AS y la fertilización sobre las características de calidad de las plántulas. En cada muestreo se seleccionaron 30 plántulas de la parte central de la charola para la evaluación de las variables: altura de plántula de la base del tallo al ápice de crecimiento; número de hojas; diámetro del tallo a 1 cm de la base; producción de materia seca del vástago (MSV), el cual se refiere a la parte aérea de la plántula, producción de materia seca de la raíz (MSR) y el área de la lámina foliar (AF).

Se evaluaron características del sistema radical asociadas a la absorción de nutrimentos y agua como: área de la raíz; longitud radical específica (LRE), que describe la relación entre longitud radical (cm) y su biomasa (mg); densidad de peso radical (DPR), la cual describe la masa de raíz producida (mg) por unidad de volumen (cm³) del sustrato o medio en el cual se desarrolla y la densidad de longitud radical (DLR) que

describe la longitud de raíz (cm) por unidad de volumen del sustrato (cm³).

El área foliar junto con las variables de la raíz se obtuvieron por digitalización de los tejidos para obtener una imagen en un formato tipo TIF. La medición del área foliar y variables de la raíz se realizaron con el programa RootEdge Ver. 2.3 (Kaspar y Ewing 1997). Previo a la digitalización, las raíces fueron separadas del sustrato mediante lavados con agua corriente y teñidas con colorante rojo Congo al 1%.

Al finalizar el desarrollo de la plántula (50 días después de la germinación) se calcularon los siguientes índices morfológicos: relación materia seca del vástago y materia radical (MSV/MSR); el índice de esbeltez mediante la relación entre la altura de la plántula (cm) y el diámetro del tallo (mm) y el índice de calidad de Dickson que integra los dos índices anteriores, mediante la relación de la materia seca total de la plántula (MST) y la suma del cociente de esbeltez y la relación MSV/MSR (Birchler *et al.* 1998). El análisis químico de las plantas se llevó a cabo en el Laboratorio de Agua-Suelo-Planta del IT-Conkal ubicado en el municipio de Conkal cuya ubicación geográfica es 21°04'00"N y 89° 32'00"O a una altitud de 8 msnm. El contenido de minerales se determinó a los 50 días después de la germinación siguiendo la metodología descrita en AOAC (2000); el N se determinó por el método Kjeldahl, el análisis de P por el método del Molibdato de sodio utilizando un espectrofotómetro de luz UV-Visible; el K, Ca, Mg, Cu, Fe, Zn y Mn por espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados obtenidos fueron analizados estadísticamente mediante el ANOVA y comparación de medias por Tukey con un nivel de confianza del 95%. Se realizó un análisis de regresión simple entre las principales variables del vástago y de la raíz. Los análisis se realizaron mediante el paquete estadístico Sigma Stat (V. 3.5) y Statgraphics (V. 5.1.), con un nivel de confianza de 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En general, las plántulas producidas sin fertilización tuvieron un crecimiento pobre independientemente de la aplicación del ácido salicílico. La fertilización química (T3) mostró favorecer la mayoría de las características morfológicas evaluadas. Los resultados obtenidos de cada variable evaluada fueron las siguientes:

Variabes de crecimiento. La materia seca del vástago (MSV), la altura, número de hojas, diámetro del tallo y área foliar (AF) de las plántulas varió significativamente entre tratamientos y días de evaluación (Cuadro 1). En todas las variables de crecimiento los mayores valores se observaron en los tratamientos T3 (F) y T4 (F+AS).

A los 50 días después de la germinación, tiempo en que las plántulas están listas para el trasplante, la mayor producción de MSV (110 mg/planta), y área foliar (447 cm²) se obtuvo en T3, mientras que la mayor altura (11,6 cm) y número de hojas (8,3 hojas) se observó en T4. Montaña-Mata y Núñez (2003) señalan que el trasplante puede realizarse cuando las plántulas alcanzan entre 7 y 12 cm de altura y desarrollan ocho hojas; en este sentido, aún cuando para algunas variables de crecimiento la aplicación de fertilizantes fue suficiente para tener un buen crecimiento de las plántulas, la adición de AS además de la fertilización química favoreció la altura y el número de hojas.

El efecto del AS en la altura de plántulas ha sido observado en tomate en el cual se incrementó el 14,8% con aplicaciones de 10⁻⁶ M de AS (Larqué-Saavedra *et al.* 2010). Los efectos del AS se han reflejado también en un aumento en la producción de biomasa en soya y pino (San Miguel *et al.* 2003) y en la altura en soya (Zhao *et al.* 1995). De acuerdo a Salisbury y Ross (1994) las modificaciones tenidas en el crecimiento se deben a que el ácido salicílico fomenta la producción de ácido indolacético y de ácido naftalenacético que son reportados como los principales reguladores de crecimiento vegetal. Sin embargo, en este estudio el

efecto positivo del ácido salicílico se obtuvo solamente cuando las plántulas recibieron fertilización química.

En cuanto al crecimiento de la raíz, se presentaron diferencias significativas solamente a los 50 días después de la germinación en MSR, LRE y DPR (Cuadro 2), mientras que el área de raíz y DLR mostraron diferencias durante el crecimiento de la plántula.

Con las aplicaciones de AS se tuvo menor producción de MSR; su efecto puede observarse en T2 (8 mg/planta) y en su uso combinado con la fertilización química T4 (7 mg/planta). Por el contrario, la aplicación única del fertilizante químico mostró la mayor MSR. Este efecto inhibitorio del AS ha sido también reportado por Saxena y Rashid (1980), causado posiblemente por toxicidad. Sin embargo, otros estudios realizados sobre el uso de diferentes dosis de ácido salicílico en cultivos como en pino, crisantemo (*Catharanthus roseus*) y tomate mostraron incrementos en la producción de MSR (San Miguel *et al.* 2003, Villanueva-Couoh *et al.* 2009, Echeverría-Machado *et al.* 2007, Larqué-Saavedra *et al.* 2010). Esto sugiere la importancia de realizar nuevos experimentos donde se evalúe el efecto de diferentes dosis de ácido salicílico en chile habanero.

La fertilización química conjuntamente con hormonas endógenas tiene un papel importante en el crecimiento de la raíz (Wang *et al.* 2009); esto concuerda con lo observado en T4 (AS+F) al obtenerse una mayor longitud por unidad de biomasa de raíz (LRE = 87 cm/mg) lo cual facilita que las raíces tengan mayor superficie para absorber agua y nutrimentos después del trasplante (Eissenstat 1991).

Cuadro 1. Efecto del ácido salicílico y la fertilización química en el crecimiento del vástago de plántulas de chile habanero durante noviembre 2008 y diciembre 2009. Yucatán, México.

T ¹	Días después de la germinación														
	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30	40	50
	MSV ² (mg por planta)			Altura (cm)			Número de hojas			Diámetro de tallo (mm)			Área foliar (cm ²)		
T1	19c	27b	60c	6,3b	6,4b	7,1b	4,8b	5,0b	5,7b	2,0b	2,0b	2,0b	14c	98c	152b
T2	15d	25b	41d	5,8b	5,8b	5,8b	4,3b	4,6b	5,3b	2,0b	2,0b	2,0b	10d	85c	103b
T3	30a	55a	110a	8,9a	10,5a	10,7a	5,8a	6,2a	8,1a	3,0a	2,5c	2,5a	24a	254b	447a
T4	26b	52a	89b	8,4a	9,6c	11,6a	5,1ab	6,3a	8,3a	2,0b	2,5c	2,5a	20b	296a	441a

¹Tratamientos= T1: 0F+0AS; T2: AS (10⁻⁸ M de AS); T3: F (190 mg/l N-P₂O₅-K₂O) y T4: F+AS (190 mg/l de N-P₂O₅-K₂O + 10⁻⁸ M de AS).

²Masa seca del vástago.

Medias con letras iguales entre columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0,05).

Cuadro 2. Efecto del ácido salicílico y la fertilización en las características de desarrollo de la raíz de plántulas de chile habanero durante noviembre de 2008 y diciembre de 2009. Yucatán, México.

T ¹	Días después de la germinación														
	30 ^{NS}	40 ^{NS}	50	30	40	50	30 ^{NS}	40 ^{NS}	50	30 ^{NS}	40 ^{NS}	50	30	40	50
	MSR ² mg/planta			Área radical cm ²			LRE ³ cm/mg			DPR ⁴ mg/cm ³			DLR ⁵ cm/cm ³		
T1	2,5	6	10b	14ab	23a	32c	58	41	45b	0,11	0,27	0,33b	6,5a	11,0a	15c
T2	2,3	5	8cb	15ab	18ab	28d	72	37	46b	0,10	0,24	0,28cb	7,3a	8,9ab	13d
T3	2,8	6	14a	16a	20ab	62a	57	31	52b	0,13	0,28	0,46a	7,4a	8,6ab	24a
T4	2,3	5	7c	14b	16b	53b	66	30	87a	0,11	0,23	0,25c	6,7ab	7,0b	22b

¹ Tratamientos= T1: 0F+0AS; T2: AS (10⁻⁸ M de AS); T3: F (190 mg/l N-P₂O₅-K₂O) y T4: F+AS (190 mg/l de N-P₂O₅-K₂O + 10⁻⁸ M de AS). ² Masa seca de raíz. ³ Longitud radical específica. ⁴ Densidad de peso radical. ⁵ Densidad de longitud radical. Medias con letras iguales entre columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0,05).

Por el contrario, las aplicaciones aisladas de AS (T2) y de fertilización química F (T3) registraron en 47 y 42% menor en el crecimiento que con la combinación de ambos (F+AS). El valor alto de LRE en T4 está relacionado con la producción de biomasa de raíz por unidad de volumen de sustrato (DPR). Según Eissenstat (1991), cuando se tiene baja producción de biomasa de raíz por unidad de volumen del sustrato, significa que se tiene mayor ventaja para explorar el suelo ya que las raíces con reducida biomasa por cm³ de suelo, o sustrato como en este caso, tienen un menor diámetro que les permite una mayor proliferación. En este estudio el menor valor de DPR fue para T4 (0,25 mg/cm³) coincidiendo con el mayor valor para LRE para este mismo tratamiento.

En cuanto al área radical, esta es una característica de la cual depende en gran medida la absorción de nutrientes, ya que a mayor área superficial se tiene mayor superficie de contacto para realizar la absorción de nutrientes.

Diferentes estudios señalan que el movimiento de K y P hacia la raíz se realiza por difusión (Barber 1984, Tinker y Nye 2000) y para el caso del chile habanero, una vez en las inmediaciones de la raíz la absorción de K por cm² de raíz se realiza a una velocidad de entre 3,3x10⁻⁴ y 4,8x10⁻⁴ mM/s (Borges-Gómez *et al.* 2006). El N se mueve principalmente por flujo de masa pero hasta el momento, al igual que para P, no se tiene información sobre su absorción por unidad de área superficial de raíz. Los tratamientos T3 y T4 que contienen fertilizante químico son los que reportaron mayor área de raíz a los 50 DDG (62 y 53 cm² respectivamente), indicando que la fertilización química favoreció esta variable.

En la evaluación de los índices de crecimiento a los 50 DDG, la relación entre MSV:MSR varió entre 5,13 en el T2 y 12,7 en el T4 (Cuadro 3). De acuerdo a Baston-Wilson (1988) los cambios en las relaciones de MSV:MSR pueden ser atribuibles a deficiencias de macronutrientes, agua y CO₂. Según el modelo de Thornley (1972), los factores que determinan la relación MSV:MSR son los suministros de C y N en la parte aérea y la raíz respectivamente. Así que cuando decrece la adquisición de C se tiene un incremento en la relación MSV:MSR, mientras que cuando decrece el suministro de N puede causarse el decremento de esta relación. Lo anterior podría explicar la relación MSV:MSR obtenida en los tratamientos T1 y T2 en donde no se aplicó N.

Cuadro 3. Efecto del ácido salicílico y la fertilización química en los índices morfológicos de plántulas de chile habanero a los 50 días después de la germinación durante noviembre 2008 y diciembre 2009. Yucatán, México.

Tratamientos ¹	MSV/MSR ²	Cociente de esbeltez	Índice de Dickson
T1	6,00 bc	3,55 b	7,30 b
T2	5,13 c	2,92 c	6,18 b
T3	7,86 b	4,28 a	10,19 a
T4	12,70 a	4,64 a	5,58 b

¹ Tratamientos= T1: 0F+0AS; T2: AS (10⁻⁸ M de AS); T3: F (190 mg/l N-P₂O₅-K₂O) y T4: F+AS (190 mg/l de N-P₂O₅-K₂O + 10⁻⁸ M de AS). ² Relación masa seca del vástago/masa seca de raíz. Medias con letras iguales entre columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0,05).

La relación entre MSV:MSR aumentó de 7,86 en las plántulas que recibieron fertilización a 12,70 cuando se combinó fertilización con AS. La alta relación entre MSV/MSR en T4 (AS+F) fue ocasionada por la baja producción de biomasa de raíz (7 mg/planta), probablemente debido a un efecto inhibitorio del AS.

Las variables de cociente de esbeltez e índice de Dickson (Dickson *et al.* 1960) han sido utilizados para evaluar la calidad de plántulas en diversos cultivos; por ejemplo en pino (Reyes-Reyes *et al.* 2005), café (Arizaleta y Pire 2008), vara de perilla (Mendoza-Bautista *et al.* 2011) entre otros. Estas variables relacionan las características de altura, diámetro del tallo y la producción de masa seca, y aún cuando no han sido utilizados para medir la calidad de plántulas hortícolas, sus aplicaciones pueden ser útiles para evaluar la calidad de las plántulas producidas en contenedores.

En este estudio, el cociente de esbeltez varió entre 2,92 para T2 (AS) y 4,64 para T4 (F+AS). Por otro lado, el índice de Dickson varió entre 5,58 para T4 (F+AS) y 10,19 para T3 (F), mostrando que la mayor esbeltez y vigor en las plántulas se tuvieron en T3 y T4, esto sugiere para estos dos tratamientos una mayor sobrevivencia

del trasplante y un mejor desarrollo en campo. No obstante, en el índice de Dickson fue T3 quien mostró el menor valor y esto se debe a que este índice considera la relación de la masa seca total de la plántula (T3 = 96 mg) y la suma del cociente de esbeltez (altura/diámetro T3 = 4,64) y la relación MSV:MSR (T3 = 12,7). Por lo tanto, el valor bajo del índice de Dickson se debe a la baja producción de biomasa radical. Debe tomarse en cuenta que estos índices de calidad son utilizados por primera vez en cultivos hortícolas, por lo que deberán realizarse más estudios en estas especies.

Extracción nutrimental. Los resultados de contenido de nutrientes en las plántulas mostraron diferencias ($p > 0,0001$) en todos los minerales estudiados (N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Zn y Mn). En el tratamiento T3 (F) se registraron los mayores contenidos de nutrientes en tejido con excepción de K, Fe y Zn, los cuales fueron similares a T4 (F+AS) (Figura 1); con estos resultados se destaca el efecto de la fertilización y la combinación de este con el ácido salicílico en la nutrición de las plántulas.

Cada especie tiene requerimientos particulares de nutrientes que permiten un crecimiento y un vigor óptimo (Timmer y Armstrong 1987); estos

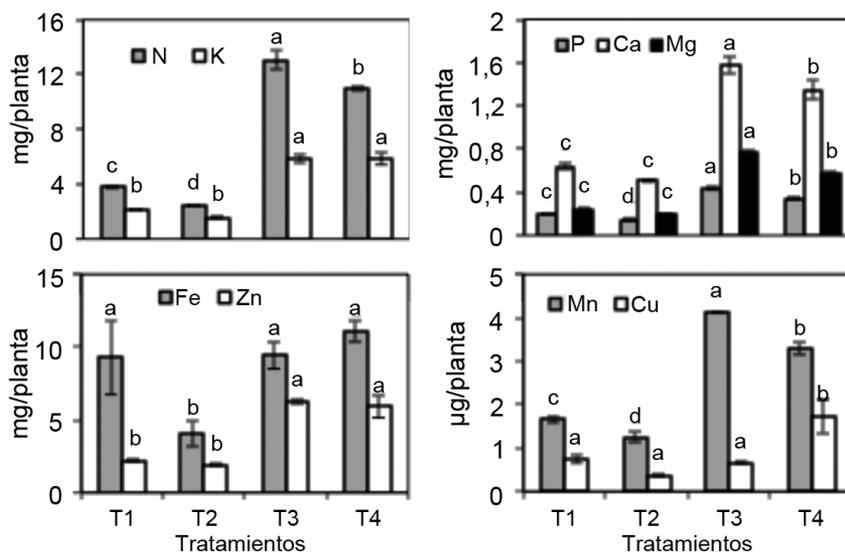


Figura 1. Contenido de nutrientes en plántulas de chile habanero a los 50 días después de la germinación. Yucatán, México. 2009.

T1: 0F+0AS; T2: AS (10^{-8} M de AS); T3: F (190 mg/l N-P₂O₅-K₂O) y T4: F+AS (190 mg/l de N-P₂O₅-K₂O + 10^{-8} M de AS).

Letras iguales entre barras del mismo color no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0,05).

requerimientos no son constantes y cambian según las plantas y el medio donde crecen y se desarrollan. Por ejemplo, en la producción de plántulas de chile jalapeño, Preciado *et al.* (2007) reportaron contenidos entre 12,6 y 28,7 mg por planta de N; entre 0,93 y 1,11 de P y entre 9,9 y 14 mg de K; quedando solamente el contenido de N del T3 en plántulas de chile habanero entre el rango reportado para chile jalapeño. Estas diferencias se atribuyen a la biomasa producida.

En trabajos anteriores realizados en plántulas de melón donde se evaluó el efecto de la aplicación de diferentes soluciones nutritivas, se observó un mayor crecimiento y acumulación de nutrientes en las plántulas al igual que en este trabajo (Preciado *et al.* 2002). En general, la práctica de aplicar soluciones nutritivas

en la producción de plántulas constituye una alternativa para obtener estas de buena calidad. En chile habanero se observó que la fertilización química (T3) aumentó el contenido de minerales en las plántulas al contrario que con el ácido salicílico la absorción de algunos nutrientes (K, Fe y Zn) fue igual.

Interacciones de las variables de crecimiento y la nutrición de las plántulas. Estudios realizados en tejido de tabaco bajo diferentes condiciones de nutrición y de irradiación, mostraron una relación significativa ($R^2 = 0,84$) entre MSV: MSR y el contenido de N convertido en proteína soluble (Andrew *et al.* 2006). La relación entre MSV: MSR y el contenido de N total en plántulas de chile habanero fue similar ($R^2 = 0,88$) (Figura 2).

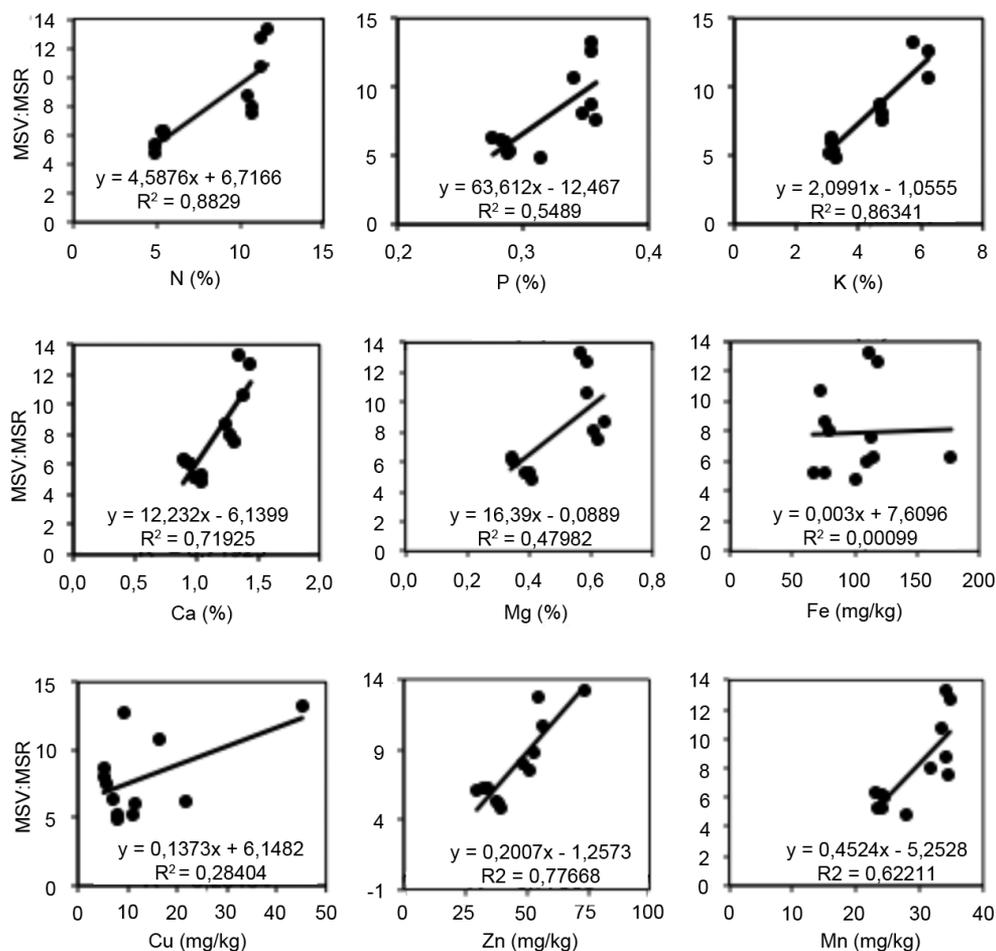


Figura 2. Relación entre masa seca del vástago y masa seca de la raíz (MSV: MSR) y el contenido de nutrientes en tejido de plántulas de chile habanero. Yucatán, México. 2009.

Otras relaciones significativas se observaron entre MSV: MSR y los contenidos de K, Ca, Zn y Mn; mientras que la relación entre MSV: MSR y los contenidos de P, Mg, Fe y Cu no fue significativo. En cuanto a las relaciones existentes sobre la absorción de nutrimentos y las características de la raíz, estudios previos señalan que el factor más importante que influye en la absorción de nutrimentos es la longitud y el área superficial (Barber 1984, Tinker y Nye 2000), esto explica las altas relaciones encontradas en el análisis de regresión entre estas dos variables (Cuadro 4), indicando que a un mayor contenido nutrimental se tendrá un mejor desarrollo de la raíz.

Del mismo modo, se observó una relación positiva entre las variables de crecimiento del vástago y el contenido de nutrimentos en la plántula (Cuadro 5), mostrando las tendencias entre el estatus nutrimental

de la plántula y las características de la plántula. Los resultados de los valores de las ecuaciones pueden ser utilizados para calcular los valores de cada nutrimento de acuerdo a las características de crecimiento de la plántula. En este sentido, es posible predecir el estado nutricional mediante la aplicación de dichas ecuaciones.

Las aplicaciones del ácido salicílico (10^{-8} M) en combinación con fertilización de N, P y K (190 mg/l de N-P₂O₅-K₂O) solo incrementaron la altura, número de hojas y longitud radical específica de las plántulas en chile habanero. Todas las demás variables de crecimiento se ven favorecidas al emplear únicamente la fertilización química; el ácido salicílico solamente tiene efectos favorables cuando las plantas reciben fertilización química y por sí solo no favorece el crecimiento de las plántulas de chile habanero.

Cuadro 4. Análisis de regresión lineal entre las variables de crecimiento de la raíz y el contenido de nutrimentos (mg/plántula) de chile habanero a los 50 días después de la germinación. Yucatán, México. 2009.

Modelo lineal	F*	R ^{2**}	ES***
N = -6,32178 + 0,317638*Área radical	755,83	0,99	0,57
N = -10,0053 + 0,95847*Longitud radical específica	707,7	0,96	0,59
P = -0,070355 + 0,00800006*Área radical	658	0,98	0,015
P = -0,160987 + 0,0240233*Longitud radical específica	383	0,97	0,02
K = -2,11447 + 0,136788*Área radical	133	0,93	0,58
K = -3,7288 + 0,414286*Longitud radical específica	146	0,94	0,56
Ca = -0,373506 + 0,0317501*Área radical	387	0,97	0,79
Ca = -0,73547 + 0,095466*Longitud radical específica	569	0,98	0,66
Mg = -0,27698 + 0,0164731*Área radical	660	0,98	0,032
Mg = -0,457993 + 0,0491611*Longitud radical específica	257	0,96	0,05
Zn = -1,98469 + 0,138703*Área radical	138	0,93	0,58
Zn = -3,65613 + 0,421967*Longitud radical específica	178	0,95	0,52
Mn = -1,02418 + 0,0824458*Área radical	1070	0,99	0,12
Mn = -1,94898 + 0,247073*Longitud radical específica	411	0,98	0,2

* Pruebas de comparación de varianza.

** Coeficiente de correlación.

*** Error estándar.

Cuadro 5. Análisis de regresión lineal entre las variables de crecimiento del vástago y el contenido de nutrimentos (mg/plántula) de chile habanero a los 50 días después de la germinación. Yucatán, México. 2009.

Modelo lineal	F*	R ^{2**}	ES***
N = -0,427657 + 0,0280138*Área foliar	299	0,97	0,90
N = -7,56011 + 1,71662*Altura	56	0,85	1,95
N = -32,6096 + 17,8604*Diámetro de tallo	235	0,92	1,00
P = 0,0850737 + 0,000681132*Área foliar	90	0,90	0,04
P = -0,0819459 + 0,0410124*Altura	32	0,76	0,06
P = -0,690443 + 0,431166*Diámetro de tallo	73	0,88	0,04
K = 0,319177 + 0,0124301*Área foliar	303	0,97	0,39
K = -3,05991 + 0,785995*Altura	93	0,90	0,69
K = -14,1137 + 7,99304*Diámetro de tallo	411	0,98	0,34
Ca = 0,22298 + 0,00277453*Área foliar	175	0,95	0,12
Ca = -0,479317 + 0,169551*Altura	47	0,82	0,21
Ca = -2,98261 + 1,77703*Diámetro de tallo	176	0,95	0,12
Mg = 0,0452902 + 0,00139475*Área foliar	81	0,89	0,09
Mg = -0,294037 + 0,083677*Altura	30	0,75	0,13
Mg = -1,56745 + 0,893883*Diámetro de tallo	82	0,89	0,09
Zn = 0,454453 + 0,0127041*Área foliar	706	0,99	0,26
Zn = -2,93347 + 0,795874*Altura	93	0,90	0,70
Zn = -14,0422 + 8,05615*Diámetro de tallo	293	0,97	0,41
Mn = 0,557207 + 0,00709093*Área foliar	121	0,92	0,36
Mn = -1,25618 + 0,435423*Altura	43	0,81	0,56
Mn = -7,60179 + 4,52665*Diámetro de tallo	112	0,92	0,37

* Pruebas de comparación de varianza.

** Coeficiente de correlación.

*** Error estándar.

LITERATURA CITADA

- Andrew, M; Raven, JA; Lea, PJ; Sprent, JI. 2006. A role for shoot protein in shoot-root dry matter allocation in higher plants. *Annals of Botany* 97:3-10.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemist). 2000. *Official methods of analysis*. 17 ed. Gaithersg, Maryland, USA. p. 3-25.
- Arizaleta, M; Pire, R. 2008. Respuesta de plántulas de café al tamaño de la bolsa y fertilización con nitrógeno y fósforo en vivero. *Agrociencia* 42:47-55.
- Barber, SA. 1984. *Soil nutrient bioavailability: A mechanistic approach*. Wiley & Sons, Inc., New York, USA. 398 p.
- Bastow-Wilson, J. 1988. A review of evidence on the control of shoot: root ratio, in relation to models. *Annals of Botany* 61:433-449.
- Birchler, T; Rowse, RW; Royo, A; Pardos, M. 1998. La planta ideal: Revisión del concepto, parámetros definitivos e implementación práctica. *Investigación Agraria Sistemas de Recursos Forestales* 7(1-2):109-121.
- Borges-Gómez, L; Chuc-Puc, J; Escamilla-Bencomo, A; Medina-Lara, F. 2006. Cinética de la absorción de potasio por las raíces de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Agrociencia* 40:431-440.
- Dickson, A; Leaf, AL; Hosner, IE. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedlings stock in nurseries. *Forest Chronicle* 36:10-13.
- Echeverría-Machado, I; Escobedo Gracia-Medrano, RM; Larqué-Saavedra, A. 2007. Responses of transformed *Catharanthus roseus* roots to femtomolar concentrations of salicylic acid. *Plant Physiology and Biochemistry* 45:501-507.

- Eissenstat, DM. 1991. On the relationship between specific root length and rate of root proliferation: a field study using citrus rootstocks. *New Phytologist* 118:63-68.
- Gallego, GL; Escamilla, TL; Jackson, LA; Dixon, RA. 2011. Salicylic acid mediates the reduced growth of lignin down-regulated plants. *Plant Biology* 108(51):20814-20819.
- Gómez, LBL; Cepeda, VMA. 2010. Ácido salicílico: inductor de resistencia a sequía en canola de riego bajo labranza reducida. Folleto técnico No. 2 SAGARPA. INIFAP-CIRPAC. Uruapan, Mich., México. 48 p.
- González, TE; Gutiérrez, L; Contreras, F. 2006. El chile habanero de Yucatán. Usos culinarios tradicionales del chile habanero. Ciencia y Desarrollo. El conocimiento a tu alcance. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México. Consulta 15 ene 2007. Disponible en <http://www.conacyt.mx/comunicacion/revista/195/Articulos/Chilehabanero/Habanero00.html>
- Hayat, S; Ali, B; Ahmad, A. 2007. Salicylic acid: Biosynthesis, metabolism and physiological role in plants p. 1-11. In Hayat, S; Ahmad, A. eds. Salicylic acid a plant hormone. Springer. Dordrecht, The Netherlands. 401 p.
- Kaspar, TC; Ewing, RP. 1997. Rootedge. Software for measuring root length from desktop scanner images. *Agronomy Journal* 89:932-940.
- Larqué-Saavedra, A; Martín-Mex, R. 2007. Effects of salicylic acid on the bioproductivity of plants p. 15-24. In Hayat, S; Ahmad, A. eds. Salicylic acid a plant hormone. Springer. Dordrecht, The Netherlands. 401 p.
- Larqué-Saavedra, A; Martín-Mex, R; Nexticapan-Garcéz, A; Vergara-Yoisura, S; Gutiérrez-Rendón, M. 2010. Efecto del ácido salicílico en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 16(3):183-187.
- Maggi, CA. 1992. Therapeutic potential of *capsaicin*-like molecules—studies in animals and humans. *Life Science* 51:1777-1781.
- McSteen, P; Zhao, Y. 2008. Plant hormones and signaling: common themes and new developments. *Development Cell* 14(4):467-73.
- Mendoza-Bautista, C; García-Moreno, F; Rodríguez-Trejo, DA; Castro-Zavala, S. 2011. Radiación solar y calidad de planta en una plantación de vara de perilla (*Symphoricarpos microphyllus* H. B. K.). *Agrociencia* 45: 235-243
- Montaño-Mata, NJ; Núñez, JC. 2003. Evaluación del efecto de la edad de trasplante sobre el rendimiento en tres selecciones de ají dulce *Capsicum chinense* Jacq. en Jusepín, estado Monagas. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)* 20:144-155.
- Preciado, RP; Baca, GA; Tirado, JL; Kohashi-Shibata, J; Tijerina, L; Martínez, A. 2002. Nitrógeno y potasio en la producción de plántulas de melón. *Terra* 20:267-276.
- Preciado, RP; Lara-Herrera, A; Segura, CMA; Rueda, PEO; Orozco, VJA; Yescas, CP; Montemayor, TJA. 2007. Amonio y fosfato en el crecimiento de plántulas de chile jalapeño. *Terra Latinoamericana* 26:37-42.
- Reyes-Reyes, J; Aldrete, A; Cetina-Alcalá, VM; Lopez-Upton, J. 2005. Producción de plántulas de *Pinus pseudostrabus* var. *Alpuncensis* en sustratos a base de aserrín. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 11(2):105-110.
- Salisbury, FB; Ross, CW. 1994. Fisiología vegetal. Traducido por González, V. V. Edit. Iberoamérica, México. 673 p.
- San Miguel, R; Gutiérrez, M; Larqué-Saavedra, A. 2003. Salicylic acid increases the biomass accumulation of *Pinus patula*. *Southern Journal of Applied Forestry* 27:52-54.
- Savaldi-Goldstein, S; Peto, C; Chory, J. 2007. The epidermis both drives and restricts plant shoot growth. *Nature* 446:199-202.
- Saxena, PK; Rashid, A. 1980. Differentiation on bud cell on the protonema of the moss *Anoetanusium fhomsonii*. Effect of aspirina and salicyc acid. *Z. Pflanzenphysiologie* 99:187-189.
- Shettel, NL; Balke, NE. 1983. Plant growth response to several allelopathic chemicals. *Weed Science* 31:293-298.
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesca). Anuario estadístico de la producción agrícola. Gobierno Federal. México. (en línea). Consultado 19 septiembre 2012. Disponible en <http://www.siap.gob.mx>
- Thornley, JHM. 1972. A balanced quantitative model for root: shoot ratios in vegetative plants. *Annals of Botany* 68:211-216.
- Timmer, VR; Armstrong, G. 1987. Growth and nutrition of containerized *Pinus resinosa* at exponentially increasing nutrient additions. *Canadian Journal of Forest Research* 17:644-647.
- Tinker, PB; Nye, PH. 2000. Solute movement in the rhizosphere. Oxford University Press. USA. 444 p.
- Villanueva-Couoh, E; Alcántar-González, G; Sánchez-García, P; Soria-Fregoso, M; Larque-Saavedra, A. 2009. Efecto del ácido salicílico y dimetilsulfóxido en la

- floración de [*Chrysanthemum morifolium* (Ramat) Kitamura] en Yucatán. Revista Chapingo Serie Horticultura 15(2):25-31.
- Vergara, D; Lozada-Requena, I; Aguilar, OJ. 2006. Efecto de la capsicina sobre la producción de TN F- α en células mononucleares. Estudio piloto. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública 23(1):52-55.
- Wang, B; Tao, L; Qi-Wei, H; Xing-Ming, Y; Qi-Rong, S. 2009. Effect of N fertilizers on root growth and endogenous hormones in strawberry. Pedosphere 1:86-95.
- Zhao, HJ; Lin, XW; Shi, HZ; Chang, SM. 1995. The regulating effects of phenolic compounds on the physiological characteristics and yield of soybeans. Acta Agronómica Sinica 21:351-355.

