

CAPSAICINOIDES EN CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* Jacq.) BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE HUMEDAD Y NUTRICIÓN

Capsaicinoids in Habanero Pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) Under Various Humidity and Nutritional Conditions

Lizette Borges-Gómez^{1‡}, Libnih Cervantes Cárdenas¹, Juan Ruiz Novelo¹, Manuel Soria Fregoso¹, Vicente Reyes Oregel¹ y Eduardo Villanueva Couoh¹

RESUMEN

El chile habanero es la principal especie hortícola explotada comercialmente en la península de Yucatán, ya que además de ser un símbolo de escozor posee características de interés comercial debido a sus altos contenidos de capsaicinoides acumulados en el fruto. Los contenidos de estas sustancias se cree que pueden variar en condiciones de estrés hídrico o nutrimental. El objetivo del presente trabajo fue determinar los contenidos de capsaicina y dihidrocapsaicina en frutos de chile habanero cultivado con diferentes niveles de humedad edáfica (100, 75 y 50% de humedad aprovechable) y niveles nutrimentales de N, P₂O₅ y K₂O (240-240-240, 120-120-120 y 000-000-000), y evaluar la relación de la abundancia de los capsaicinoides con el rendimiento y calidad de los frutos. Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3² con tres repeticiones. En promedio el contenido de los alcaloides capsaicina y dihidrocapsaicina fue de 8.4 y 4.7 g kg⁻¹ en peso seco de fruto, respectivamente. No hubo respuesta significativa con los diferentes niveles de nutrimentos y humedad aprovechable. Sin embargo, se observó una respuesta significativa para contenido de capsaicina con la edad de la planta, no así para dihidrocapsaicina. El rendimiento de frutos reflejó una respuesta significativa ante los incrementos de nutrición y humedad, alcanzando en promedio 1391 g de fruto por planta para el nivel con mayor nutrición y humedad aprovechable. Se tuvo respuesta significativa entre el contenido de capsaicina y el rendimiento de fruto clasificado de tercera y entre el contenido de dihidrocapsaicina y el rendimiento y número de frutos de segunda.

¹ División de Estudios de Posgrado e Investigación. Instituto Tecnológico de Conkal. km 16.3 antigua carretera Mérida-Motul. Conkal, Yucatán, México.

[‡] Autor responsable (lizette_borges@hotmail.com.mx)

Palabras clave: capsaicina, dihidrocapsaicina, estrés hídrico.

SUMMARY

Habanero chili pepper is the main commercially grown horticultural crop in the Yucatan peninsula. It is famous for its spicy pungent taste and has characteristics of commercial interest due to the high contents of capsaicinoids accumulated in the fruit. The contents of these substances are thought to vary under water or nutritional stress conditions. The objective of this work was to determine the capsaicin and dihydrocapsaicin content in habanero chili peppers grown under different levels of soil moisture (100, 75, and 50%) and N, P₂O₅, K₂O nutritional levels (240-240-240, 120-120-120, and 0-0-0), as well as to evaluate the relationship of capsaicinoid content with fruit yield and quality. A fully randomized 3² array design with 3 replications was used. On average, the content of the alkaloids capsaicin and dihydrocapsaicin were 8.4 and 4.7 g kg⁻¹ fruit dry weight, respectively. There was no significant response to nutrition and moisture levels. The results showed a significant positive relationship between plant age and capsaicin content, but not dihydrocapsaicin. Fruit yield reflected a significant response to increments in nutrients or moisture, reaching an average of 1391 g fruit per plant, for the highest levels of nutrition and moisture. A significant relationship was found between capsaicin content and fruit yield classified as third-class, as well as between the dihydrocapsaicin content and the second-class fruit yield.

Index words: capsaicin, dihydrocapsaicin, hydric stress.

INTRODUCCIÓN

El chile fue uno de los primeros cultivos domesticados en mesoamérica por lo que ahora

se ha convertido en un ingrediente casi obligado en la comida mexicana (Barreiro, 1998; Maroto, 1995). México es el país del mundo con la mayor variedad genética de *Capsicum*; su riqueza genética se debe en gran parte a la diversidad de climas y suelos, pero también a las prácticas tradicionales de cultivo que efectúan los pequeños productores utilizando las semillas de los frutos seleccionados de las plantas nativas (Latournerie *et al.*, 2002). Entre la gran diversidad del género *capsicum*, el chile habanero (*C. chinense* Jacq.) se ha convertido en un símbolo y ejemplo en pungencia, debido a su más alto contenido de capsaicina encontrado en el fruto (Laborde y Pozo, 1984). La importancia de los capsaicinoides se debe a que además de proporcionar el sabor picante son utilizados por la industria farmacéutica (Salazar-Olivo y Silva-Ortega, 2004), de armas, tabacalera, cosmética, de pinturas, entre otras como ingrediente activo en diversos productos. De acuerdo a Harvell y Bosland (1979), los niveles de escozor en el chile están determinados por dos factores: los genéticos de la planta y los que interactúan con el medio ambiente. Estudios realizados han mostrado diferentes respuestas del efecto del estrés hídrico y la nutrición mineral sobre el contenido de capsaicinoides; así, en plantas de *C. annum* L. cv. Padrón el estrés hídrico tuvo un fuerte efecto sobre la producción de capsaicina (Bernal *et al.*, 1995; Estrada *et al.*, 1999). Por el contrario, Velasco-Velasco *et al.* (2001) reportaron que al incrementar el suministros de N, P y K en chile jalapeño (*C. annum* L.) la producción de capsaicina disminuyó. Hasta el momento se desconoce el efecto de diferentes regímenes de humedad y de incorporación de N, P₂O₅ y K₂O en la síntesis de capsaicinoides en chile habanero siendo este el objetivo del presente estudio, así como conocer su relación con la edad de la planta, rendimiento y la calidad del fruto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Plantas de chile habanero de 30-35 días de desarrollo fueron cultivadas en invernadero en bolsas negras de 12 kg utilizando una mezcla de sustratos formada con 50% cerdaza, 25% bagazo de henequén y 25% suelo Luvisol Ródico, cuyo análisis de caracterización y del agua de riego empleada se muestran en el Cuadro 1. El trasplante se realizó el 5 de noviembre de 2001, la distancia entre plantas fue de 46 cm y entre hileras fue de 2 m. El área experimental ocupó una superficie de 198 m². Considerando las recomendaciones de diferentes

autores para la producción de chile habanero (INIFAP, 1997; Tun, 2001; Soria *et al.*, 2002), las cuales se encuentran en un rango de 95 a 250 kg ha⁻¹ de NPK, se evaluaron tres niveles de fertilización de N, P₂O₅ y K₂O: 000-000-000, 120-120-120 y 240-240-240 y tres niveles de humedad aprovechable (HA): 100, 75 y 50% en un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3² para hacer un total de 9 tratamientos. Cada tratamiento tuvo cuatro repeticiones y cada repetición tres plantas para un total de 108 plantas en estudio. La fertilización se realizó manualmente, disolviendo el fertilizante en 12 L de agua recibiendo cada planta 250 mL de la solución. Considerando la demanda nutrimental del cultivo (Tun, 2001), la fertilización se realizó cada 7 días y posteriormente cada 4 días, a partir del amarre y llenado de fruto. La lámina de riego por aplicar para cada nivel de HA se obtuvo a partir de la curva de retención de humedad y de acuerdo a la ecuación:

$$V_a = (CC - PMP) D_a V_s$$

donde:

V_a = es el volumen de agua por aplicar (L)

CC = es el contenido de agua a capacidad de campo (%)

PMP = es el contenido de agua al punto de marchitez permanente (%)

D_a = es la densidad aparente (g cm⁻³)

V_s = es el volumen del sustrato (L)

Con base en los valores del Cuadro 1 y gasto de 4 L h⁻¹ el volumen de agua aplicado para los tratamientos de humedad fue de 2.7, 2.0 y 1.4 L en tiempos de riego de 40, 31 y 20 minutos respectivamente.

Extracción de Alcaloides

Para la obtención de las muestras se realizaron 10 cortes de fruto, uno por semana, a los 48 ± 3 días después de la antesis. El control de antesis floral se realizó identificando los botones florales con etiquetas de colores diferentes para cada semana y dando un seguimiento posterior a tales frutos en su llenado y maduración hasta llegar el momento del corte. La extracción de capsaicinoides se realizó únicamente a los 98, 112, 126 y 140 días después del trasplante correspondiendo al 2°, 4°, 6° y 8° corte respectivamente, para ello se pesó 1 g del fruto de chile habanero previamente deshidratadas a 60 °C, se les añadió 5 mL de acetona grado cromatográfico y se agitaron por 5 minutos. Posteriormente se filtraron con papel Wathman # 40

Cuadro 1. Análisis químico de la mezcla de sustratos (50% cerdaza, 25% bagazo de henequén y 25% de suelo Luvisol Ródico) y del agua de riego.

Análisis del sustrato		Análisis del agua de riego	
Características	Valor	Características	Valor
pH	7.5	pH	7.34
Densidad aparente (g cm ⁻³)	0.480	CE (dS m ⁻¹)	1.165
CE 1:5 (dS m ⁻¹)	2.77	Ca (mg L ⁻¹)	79.86
Agua a capacidad de campo (%)	64.5	Mg (mg L ⁻¹)	24.55
Agua a marchitez permanente (%)	37.6	Na (mg L ⁻¹)	76.94
Capacidad de intercambio catiónico (meq 100 g ⁻¹)	38	Carbonatos (mg L ⁻¹)	n.d.
N _{total} (mg kg ⁻¹)	233	Bicarbonatos (mg L ⁻¹)	504.8
P (mg kg ⁻¹)	172	Cloruros (mg L ⁻¹)	167.8
K (mg kg ⁻¹)	354	Sulfatos (mg L ⁻¹)	26.83

n.d. = no detectable.

y aforaron a 10 mL con acetona. Los extractos se mantuvieron cubiertos con papel aluminio y a una temperatura de 4 °C.

Identificación de Alcaloides

Para la identificación de capsaicina (CAP) y dihidrocapsaicina (DHCAP) se utilizó un cromatógrafo de gases (GC/MS) marca Agilent Technologies modelo 6890N acoplado con un detector selectivo de masas (MS) modelo 5973 Network, con una columna capilar SUPELCO modelo SPBTM-1701 de silicón fundido, con una longitud de 30 m x 0.25 mm x 0.25 mm en grosor de la película de la fase estacionaria y de polaridad intermedia. Las condiciones del horno consistieron en: una temperatura inicial de 250 °C por minuto, posteriormente dos rampas siendo la primera de 1 °C por minuto hasta alcanzar los 255 °C y la segunda fue programada a 10 °C por minuto pero hasta alcanzar únicamente los 260 °C, dando un tiempo de corrida de 7.5 min con un flujo constante de helio en columna de 1.8 mL min⁻¹. El tiempo de equilibrio del CG/MS fue de 2 min y el modo de inyección fue sin división. Se realizaron de tres a cuatro inyecciones por muestra para obtener un promedio de áreas semejantes.

Cuantificación de Alcaloides

Se utilizaron estándares de CAP y DHCAP con una pureza de 98 y 90% respectivamente. La curva de calibración fue con diluciones de 0, 200, 400, 600, 800

y 1000 mg L⁻¹ de cada capsaicinoide. El contenido de alcaloides se obtuvo de acuerdo a las ecuaciones:

Para capsaicina: $y = 151211.1860x + (-18799474.4)$

Para dihidrocapsaicina: $y = 181505.17565x + (-25784539.7)$.

donde:

x es el contenido de capsaicinoides (mg kg⁻¹)

y es el área del cromatograma.

Rendimiento y Calidad de Fruto

En los diez cortes realizados de fruto se evaluó la distribución del rendimiento y el número de frutos clasificándolos de acuerdo a su peso en: frutos de primera cuando el peso del fruto fue mayor a 6.5 g; frutos de segunda cuando su peso se encontró entre 5.5 y 6.4 g y frutos de tercera cuando se tuvo un peso menor a 5.4 g.

El análisis estadístico fue mediante el análisis de varianza realizando la prueba de medias de Tukey. El análisis de regresión se efectuó para determinar la relación entre la calidad de fruto y el número de frutos producidos por planta con el contenido de CAP y DHCAP.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El tiempo de retención para la CAP fue de 4.31 min \pm 0.03 y para la DHCAP fue de 4.51 min \pm 0.01 min (Figura 1). Los coeficientes de determinación obtenidos fueron $r^2 = 0.999$ y 0.997 para CAP y DHCAP respectivamente.

Contenido de Capsaicinoides

Los resultados en el contenido de CAP mostraron respuesta significativa con el efecto inducido por la edad (cortes) de la planta, no así para DHCAP (Cuadro 2). Los niveles de nutrición solo mostraron respuesta significativa en el contenido de DHCAP y en cuanto a los niveles de HA en ningún alcaloide se observó diferencias significativas. Sin embargo, la interacción de edad y humedad aprovechable (corte*HA) mostró respuesta significativa para DHCAP y en cuanto a la interacción de edad y niveles de nutrición (corte*NPK) y la interacción de edad, niveles de nutrición y humedad aprovechable (corte*NPK*HA) los resultados fueron significativos para CAP y DHCAP (Cuadro 3). El mayor contenido de CAP se tuvo a los 126 días de desarrollo de la planta después del trasplante (Figura 2). La concentración de CAP y DHCAP en fruto fue, en promedio para los 9 tratamientos, de 8.4 y 4.7 g kg⁻¹ en peso seco respectivamente. Contenidos similares (7.27 g kg⁻¹) de CAP distribuidos entre la placenta, pericarpio y semilla han sido reportados en habanero naranja por Cisneros-Pineda *et al.* (2007). Los valores reportados de CAP en el presente estudio están considerados dentro del rango reportado para habanero y corresponde a las concentraciones que producen el mayor picor.

El efecto de la nutrición mineral sobre el contenido de CAP y DHCAP ha sido contrastante en diferentes estudios realizados; por ejemplo, Lindsey (1985) encontró un incremento de estos alcaloides al disminuir la fertilización nitrogenada; mientras que Johnson y Decoteau (1996) reportaron mayores contenidos de alcaloides al aumentar N y K en chile jalapeño (*Capsicum annum* L.), resultados similares fueron también reportados por Estrada *et al.* (1998) en chile Padrón (*Capsicum annum* L.). En el presente estudio sólo se observaron diferencias significativas en el contenido en DHCAP por efecto de la nutrición. En cuanto al efecto de la humedad sobre el contenido de capsaicinoides Estrada *et al.* (1999) mencionan que al disminuir el volumen de riego en la producción de frutos de chile Padrón (*Capsicum annum* L.) obtuvieron mayores contenidos de este alcaloide, sin embargo, en este estudio no se observaron diferencias significativas por efecto de humedad sobre el contenido de CAP y DHCAP. Zewdie y Bosland (2000) señalaron que el ambiente en el cultivo *C. annum* influyó en los contenidos de CAP y DHCAP; es probable que el contenido de alcaloides este asociado no sólo a la nutrición mineral y humedad aprovechable, sino a factores ambientales como temperatura, humedad relativa y luz, y es por ello que en este estudio no se observaron respuestas significativas a la nutrición y humedad, ya que para el desarrollo

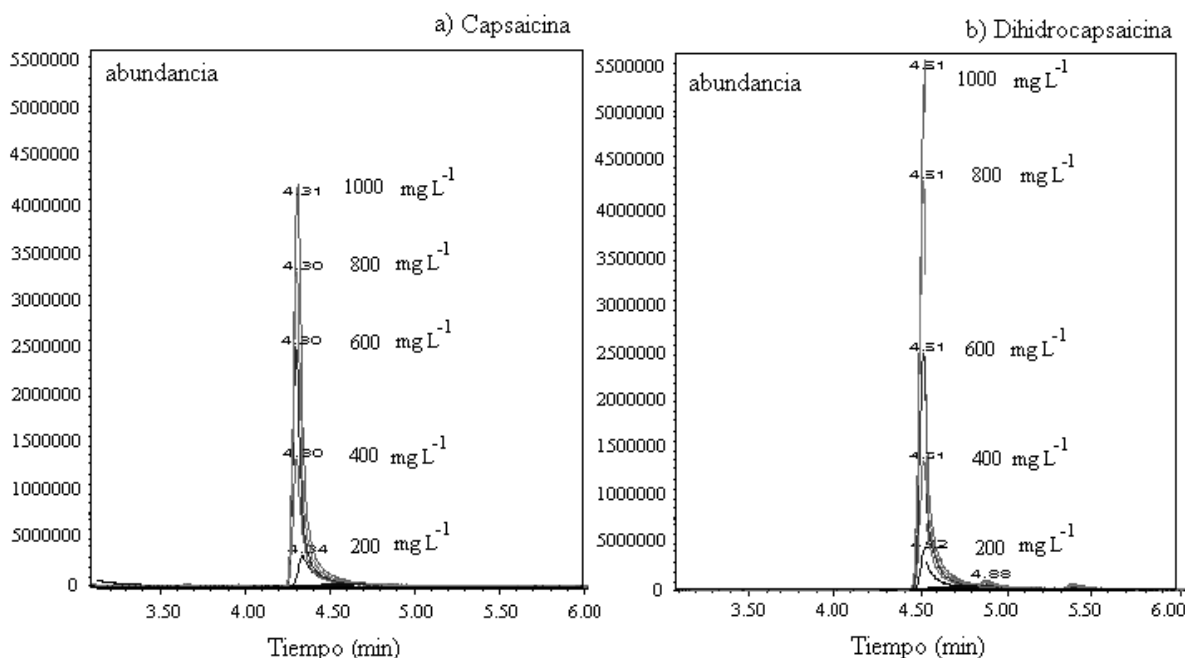


Figura 1. Cromatogramas de los estándares de calibración de capsaicina (a) y dihidrocapsaicina (b), inyectados en el equipo de cromatografía de gases acoplado a un detector selectivo de masas.

Cuadro 2. Análisis de varianza para la concentración de capsaicina y dihidrocapsaicina en peso seco de fruto de chile habanero cultivado en invernadero bajo condiciones diferentes de humedad aprovechable y nutrición N, P₂O₅ y K₂O.

Fuente de variación	Capsaicina		Dihidrocapsaicina	
	F calculada	Pr > F	F calculada	Pr > F
Tratamiento	0.43 NS	0.9011	2.76 **	0.0109
Corte	17.14 **	0.0001	0.40 NS	0.6938
NPK	0.03 NS	0.9690	9.33 **	0.0003
HA	1.28 NS	0.2838	0.59 NS	0.5575
Corte*HA	1.12 NS	0.3604	3.54 **	0.0043
Corte*NPK	4.62 **	0.0006	5.71 **	0.0000
NPK*HA	0.19 NS	0.9404	0.57 NS	0.6871
Corte*NPK*HA	2.93 **	0.00227	4.26 **	0.0001

CV_{Capsaicina} = 11.83, CV_{Dihidrocapsaicina} = 8.20, NS = no significativo y ** = altamente significativo.

del cultivo se tuvieron las mismas condiciones ambientales en todos los tratamientos.

Rendimiento de Fruto

Los rendimientos alcanzados mostraron la importancia de la aplicación al suelo de dosis altas de N, P₂O₅ y K₂O y de la suficiente disponibilidad de agua en la solución del suelo para esta especie (Cuadro 3). Resultados similares fueron reportados por Wierenga y Hendrickx (1985) con chiles rojos y verdes; Pire y Colmenarez (1994) con pimentón y por Jaimez (2000) con *C. chinense* dulce; quienes señalan que el rendimiento disminuye a medida que la nutrición o la humedad aprovechable se reduce, esto como una respuesta fisiológica detrimental ante condiciones hídricas

y nutrimentales estresantes, indicando este último que la traslocación de asimilados hacia los frutos disminuye a medida que aumenta el déficit de agua. El rendimiento de fruto tuvo una respuesta significativa con el número de corte. La mayor producción de fruto promedio se tuvo a los 112 y 119 días después del trasplante respectivamente con una producción media de 153 g de fruto por planta; posteriormente la producción de fruto decae hasta 93 g de fruto por planta a los 147 días después del trasplante (Figura 3).

La relación entre la calidad de fruto y el número de frutos producidos por planta sobre la concentración de CAP y DHCAP se muestra en el Cuadro 4. Únicamente se encontró diferencia significativa entre el contenido de CAP y la producción de fruto clasificado de tercera y el contenido de DHCAP y la producción de fruto

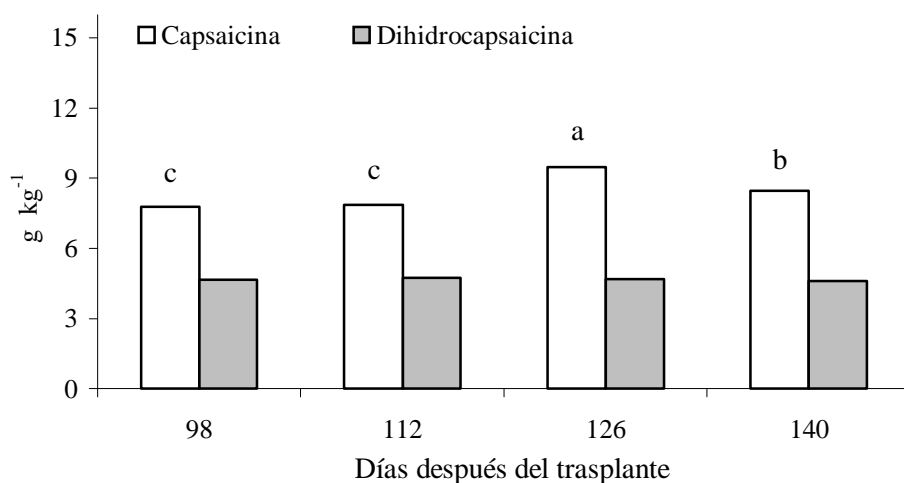


Figura 2. Contenido de capsaicinoides en peso seco de fruto de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en diferentes días de corte. Mismas literales son estadísticamente iguales entre una misma sustancia. Sin literales porque no hubo significancia.

Cuadro 3. Rendimiento de chile habanero cultivado bajo diferentes condiciones de humedad y nutrición.

Dosis de fertilización N - P ₂ O ₅ - K ₂ O	Humedad aprovechable			Rendimiento promedio g planta ⁻¹
	100	75	50	
----- kg ha ⁻¹ -----	----- % -----			
240 - 240 - 240	1391 a	1254 ab	1115 abc	1253 a
120 - 120 - 120	1298 ab	1277 ab	836 c	1137 a
0 - 0 - 0	1030 abc	921 bc	933 bc	961 b
Medias de humedad aprovechable (HA)	1240 a	1151 a	961 b	
CV (%) = 14.42				
Probabilidad de F para:				
HA = 0.0002, N - P ₂ O ₅ - K ₂ O = 0.0006				
Interacción HA x NPK = 0.082				
DSH HA x NPK = 442.9				

Medias con la misma literal son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$), comparando nutrición contra humedad aprovechable.

de segunda. En cuanto a la relación existente entre los alcaloides y el número de frutos producidos por planta únicamente se tuvo relación entre el contenido de DHCAP y la producción de frutos de segunda. De acuerdo a Cázares-Sánchez *et al.* (2005) existe la tendencia de que los frutos cuando son grandes y de mesocarpio grueso piquen poco, como es el caso del *C. annum*, mientras que los frutos pequeños con mesocarpio delgado tengan mayor concentración de capsaicinoide. Esto coincide con las experiencias de los productores de chile habanero de Yucatán, ya que consideran

que los frutos de chile habanero pequeños son más picosos y es probable que de acuerdo a lo señalado por Cázares-Sánchez *et al.* (2005) a ello se deba que los frutos clasificados como de primera no presenten correlación con las concentraciones de CAP y DHCAP.

CONCLUSIONES

- Los niveles nutrimentales y de humedad aprovechable no tuvieron un efecto estadísticamente significativo sobre la concentración de capsaicina y dihidrocapsaicina

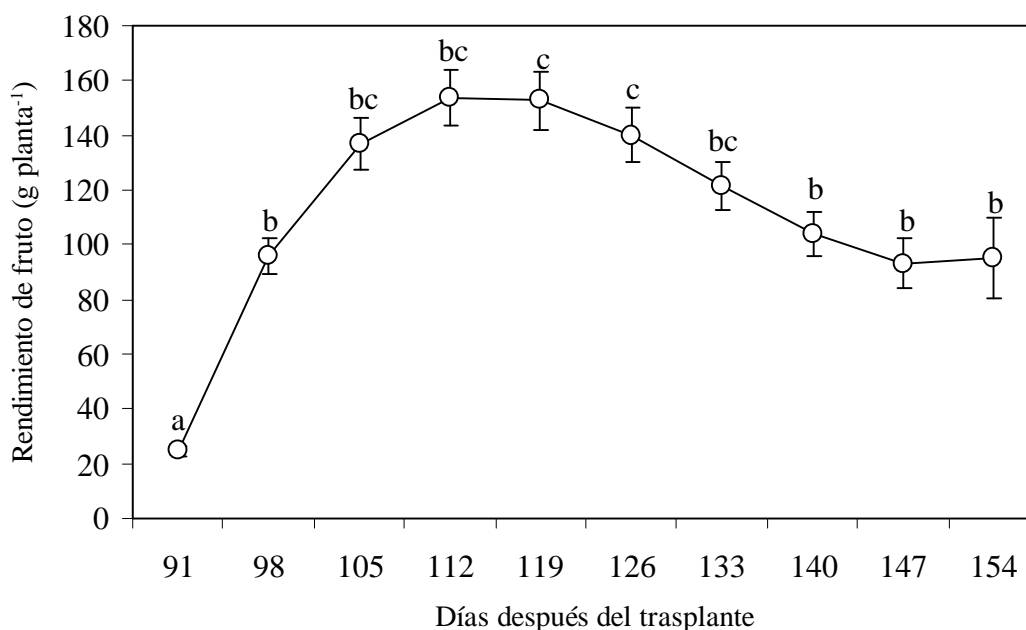


Figura 3. Comportamiento de la producción promedio de fruto fresco de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) cosechado cada 7 días a partir de los 91 días después del trasplante. Medias con la misma literal son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$).

Cuadro 4. Relaciones entre el rendimiento y número de fruto y la concentración de capsaicina y dihidrocapsaicina.

Modelo	P	Coefficiente de correlación (r)
Capsaicina = $8.16 + 0.0023$ (rendimiento de fruto de 3 ^a)	0.052	0.66*
Dihidrocapsaicina = $3.91 + 0.0062$ (rendimiento de fruto de 2 ^a)	0.079	0.61*
Dihidrocapsaicina = $3.59 + 0.556$ (número de frutos de 2 ^a)	0.067	0.64*

P = grados de probabilidad del coeficiente de correlación; * = Significativo ($P < 0.1$).

en los frutos de chile habanero, cuando se esperaba que los alcaloides se concentraran al disminuir la nutrición y humedad en el suelo.

- Únicamente para capsaicina su contenido aumentó con la edad de la planta al tener ésta 126 días de desarrollo, posteriormente baja de 9.5 a 8.5 g kg⁻¹ de fruto seco a los 140 días de desarrollo.

- Los frutos de chile habanero de calidad 3^a y 2^a son los que mostraron una mejor relación con el contenido de capsaicina y dihidrocapsaicina, situación que ha sido en campo observada pero no documentada.

- El mayor rendimiento de fruto de 1391 g planta⁻¹ se presentó con la dosis más alta de fertilizante y el 100% de humedad aprovechable.

LITERATURA CITADA

- Barreiro, P. M. 1998. Una hortaliza de México para el mundo. Claridades Agropecuarias No.56. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México, D.F.
- Bernal, M. A., A. A. Calderón, M. A. Ferrer, F. Merino de Cáceres, and F. Ros Barceló. 1995. Oxidation of capsaicin and capsaicin phenolic precursors by the basic peroxidase isoenzyme B₆ from hot pepper. *J. Agric. Food Chem.* 43: 352-355.
- Cázares-Sánchez, E., M. T. Rodríguez-González, R. Soto-Hernández, J. L. Chávez-Servia, F. Castillo-González y P. Ramírez-Vallejo. 2005. Capsaicinoides y preferencia de uso en diferentes morfotipos de chile (*Capsicum annum* L.) del centro-oriente de Yucatán. *Agrociencia* 39: 627-238.
- Cisneros-Pineda, O., L. W. Torres-Tapia, L. C. Gutiérrez-Pacheco, F. Contreras-Martín, T. González-Estrada, and S. R. Peraza-Sánchez. 2007. Capsaicinoids quantification in chili peppers cultivated in the state of Yucatán, Mexico. *Food Chem.* 104: 1755-1760.
- Estrada, B., F. Pomar, J. Díaz, F. Merino, and M. A. Bernal, 1998. Effects of mineral fertilizer supplementation on fruit development and pungency in "Padrón" peppers. *J. Hortic. Sci. Biotech.* 73: 493-497.
- Estrada, B., F. Pomar, J. Díaz, F. Merino, and M. A. Bernal. 1999. Pungency level in fruits of the Padrón pepper with different water supply. *Sci. Hortic.* 81: 385-396.
- Harvell, K. P., and P. W. Bosland. 1997. Pungency level in fruits of the Padrón pepper with different water supply. *HortScience* 32: 1292.
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias). 1997. Fertigación de chile habanero en suelos pedregosos de Yucatán. pp. 238-241. *In: Tecnologías llave en mano. División Agrícola. Tomo I. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México, D.F.*
- Jaimez, R. E. 2000. Crecimiento y distribución de la materia seca en ají dulce bajo condiciones de déficit de agua. *Agronomía Tropical* 50: 189-200.
- Johnson, C. D. and D. R. Decoteau. 1996. Nitrogen and potassium fertility affects Jalapeño pepper plant growth, pod yield, and pungency. *HortScience* 3: 1119-1123.
- Laborde, J. A. y O. Pozo. 1984. Presente y pasado del chile en México. Publicación especial No. 85. INIA, SARH. México. D.F.
- Latournerie-Moreno L., J. L. Chávez-Servia, M. Pérez-Perez, G. Castañon-Nájera, S. A. Rodríguez-Herrera, L. M. Arias-Reyes y P. Ramírez-Vallejo. 2002. Valoración *in situ* de la diversidad morfológica de chiles (*Capsicum annum* L. y *Capsicum chinense* Jacq.) en Yaxcabá, Yucatán. *Rev. Fitotec. Mex.* 25: 25-33.
- Lindsey, K. 1985. Manipulation by nutrient limitation of the biosynthetic capacity of immobilized cells of *Capsicum frutescens* Mill. cv. annum. *Planta* 165: 126-133.
- Maroto, J. V. 1995. Horticultura herbácea especial. 4^a edición. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Pire, R. y O. Colmenarez. 1994. Extracción y eficiencia de recuperación de nitrógeno por plantas de pimentón sometidas a diferentes dosis y fraccionamientos del elemento. *Agron. Trop.* 46: 353-369.
- Salazar-Olivo, L. A. y C. O. Silva-Ortega. 2004. Efectos farmacológicos de la capsaicina, el principio pungente del chile. *Biología Scripta* 1: 7-14.
- Soria, M., A. Trejo, J. Tun, y R. Terán. 2002. Paquete tecnológico para la producción de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). SEP. DGETA. ITA-2. Conkal, Yucatán, México.
- Tun D., J. C. 2001. Chile habanero características y tecnología de producción. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Yucatán, México.
- Velasco-Velasco, V. A., G. Alcántar-González, P. Sánchez-García, E. Estañol-Botello, E. Zavaleta-Mejía, E. Cárdenas-Soriano, R. Rodríguez-Montessoro y A. Martínez-Garza. 2001. Efecto de N, P y K en plantas de chile jalapeño infectadas con el virus jaspeado del tabaco. *Terra* 19: 117-125.
- Wierenga, P. J. and J. M. H. Hendrickx. 1985. Yield and quality of trickle irrigated chile. College of Agriculture and Home Economics, New Mexico State University. <http://www.cahe.nmsu.edu/pubs/bulletins/bull703.html#Introduction>. (Consulta: mayo 25, 2001).
- Zewdie, Y. and P. W. Bosland. 2000. Evaluation of genotype, environment, and genotype by environment interaction for capsaicinoids in *Capsicum annum* L. *Euphytica* 111: 185-190.