USO DE AGUA, POTENCIAL HÍDRICO Y RENDIMIENTO DE CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* Jacq.)

WATER USE, WATER POTENTIAL AND YIELD OF HABANERO PEPPER (*Capsicum chinense* Jacq.)

Wendy C. Quintal Ortiz, Alfonzo Pérez-Gutiérrez[1*], Luis Latournerie Moreno[1], Cesar May-Lara[2], Esaú Ruiz Sánchez y Armando J. Martínez Chacón[3]

[1]División de Estudios de Posgrado e Investigación. Instituto Tecnológico de Conkal. km. 16.3 antigua carretera Mérida-Motul. 97345, Mérida, Yucatán, México. Tel. y Fax: (999) 9124131 ext. 146. [2]Campo Experimental Mococha, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. [3]Instituto de Neuroetología, Universidad Veracruzana. Dr. Luis Castelazo Ayala s/n, Col. Industrial las Animas. 91190, Xalapa, Veracruz, México.

**Autor para correspondencia* (riegoeficiente@hotmail.com)

RESUMEN

En las plantas el agua constituye típicamente de 80 a 95 % de la masa de los tejidos en crecimiento, donde desempeña funciones esenciales. La baja disponibilidad de agua en el suelo provoca el estrés abiótico de mayor incidencia en el crecimiento vegetal que en los sistemas agrícolas representa en pérdidas económicas. Es importante entonces estimar los requerimientos hídricos de los cultivos para mejorar su potencial productivo y el uso del agua. En este estudio se evaluó el efecto de cinco niveles de humedad aprovechable (HA) (60, 50, 40, 30 y 20 %) aplicada tres veces por semana) en chile habanero (*Capsicum chínense* Jacq.) establecido en condiciones protegidas. Se analizó el potencial hídrico de la hoja, crecimiento, producción y distribución de biomasa, rendimiento y tamaño del fruto, índice de cosecha e índice de productividad del agua. Se encontró que al regar con una lámina de 60 % de la HA se obtuvo la mejor condición hídrica de la planta, 55 % más de área foliar, 44 % más de biomasa total y 84 % más de rendimiento de fruto, que con 20 % de HA. Con 60 % de HA se logró una producción de 5.6 g de biomasa seca por cada litro de agua aplicado.

Palabras clave: *Capsicum chinense*, índice de productividad del agua, humedad aprovechable del sustrato.

SUMMARY

Water in plants represents 80 to 95 % of the mass in growing tissue where it plays esential functions. Low water availability in soils is the most common abiotic stress on plant growth which causes economic losses in agricultural systems. It is important then to estimate crop water requirements for improving crop productivity. In the present work, habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) was exposed to five levels of substrate water availability (60, 50, 40, 30 y 20 %). Leaf water potential, plant growth, biomass distribution, fruit yield, fruit size, harvest index and water productivity were evaluated. Results showed that plants exposed to 60 % of substrate water availability had the highest leaf water potential, with gains of 55 % in leaf area, 44 % in dry mass and 84 % in fruit yield, compared to the 20 % water availability in the substrate. With 60 % of water availability plants produced 5.6 g of dry biomass per 1 L of irrigated water.

Index words: *Capsicum chinense*, water productivity index, substrate water availability.

INTRODUCCIÓN

De la disponibilidad del agua en el suelo depende el desempeño de un gran número de funciones en beneficio de las plantas (Salisbury y Ross, 2000), y su deficiencia puede limitar el crecimiento (Méndez *et al*., 2007). La falta de agua es el estrés abiótico de mayor incidencia en el crecimiento vegetal (Gao *et al*., 2007) y es de especial interés en los sistemas agrícolas en los que causa pérdidas económicas.

La respuesta más sensible al estrés hídrico es el crecimiento celular; y es durante esta condición que las células permanecen más pequeñas y las hojas tienen menor desarrollo y, en consecuencia, se reduce el área foliar fotosintéticamente activa (Parra *et al*., 1999). Además, en tales condiciones la actividad hidrolítica de las enzimas aumenta considerablemente, el transporte de los iones disminuye y la respiración comúnmente aumenta (Salisbury y Ross, 2000).

Recibido: 23 de Enero del 2012.
Aceptado: 24 de Abril del 2012.

Diferentes procesos fisiológicos vegetales pueden ser afectados por la disminución del riego (Pérez *et al*., 2008). Por ejemplo, la conductancia estomática se reduce a medida que aumenta el estrés hídrico en hojas a causa del cierre de estomas (Rada *et al*., 2005); en consecuencia, se incrementa la temperatura de la hoja a niveles que causen daños por calor. Al mismo tiempo se reduce la transpiración foliar y aumenta la resistencia estomática (Parra *et al*., 1999).

También el potencial hídrico de la hoja disminuye al incrementar el estrés hídrico, por lo que hay menor crecimiento vegetativo y producción de biomasa (Ismail, 2010; May *et al*., 2011). Sin embargo, una reducción moderada de la humedad podría beneficiar a las plantas, pues en cultivos como tomate (*Lycopersicum esculentum* L.) se mejora el rendimiento y el uso de agua es más eficiente cuando se riega con 80 % que con 100 % de la evapotranspiración potencial (González y Hernández, 2000).

En el chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) sometido a tensión hídrica se disminuye la altura de planta, el diámetro basal, el volumen de raíces y la biomasa (Pérez *et al.,* 2008; May *et al*., 2011). Según Ismail (2010), el déficit hídrico en *Capsicum annuum* se traduce en reducciones significativas del potencial hídrico foliar y del rendimiento.

Con base en lo anterior, en este estudio se evaluaron diversos niveles de humedad aprovechable en el sustrato para medir sus efectos en el uso del agua, potencial hídrico y rendimiento de chile habanero crecido en condiciones protegidas, en Conkal, Yucatán.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área experimental

La investigación se hizo dentro de una estructura protegida ubicada en el km 16.3 de la antigua carretera Mérida-Motul. Se utilizó semilla de la variedad criolla 'ITH224', la cual se puso a germinar en charolas de poliestireno de 200 cavidades rellenadas con sustrato comercial tipo cosmopeat, donde se mantuvo durante 45 d con riegos ligeros diarios y una fertilización química por semana con 19N - 19P - 19K a razón de 1 g L^{-1} de agua. El trasplante se hizo cuando las plantas habían alcanzado una altura de 15 cm, a bolsas de polietileno color negro calibre 400 de 35 cm de diámetro y 40 cm de altura, rellenas con un sustrato compuesto de bagazo viejo de henequén (30 %), tierra negra (40 %) y gallinaza (30 %), el cual fue desinfectado con Furadan® (i.a. carbofuran) aplicado en dosis de 10 g m^{-3}. Cada bolsa contenía una planta.

Tratamientos y diseño experimental

La aplicación de los tratamientos se inició 8 d después del trasplante. Los tratamientos consistieron en aplicar una lámina de riego de 60 (T_1), 50 (T_2), 40 (T_3), 30 (T_4) y 20 % (T_5) de la humedad aprovechable total del sustrato, cada segundo día (lunes, miércoles y viernes).
Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Cada repetición se integró con diez plantas como unidad experimental. Los datos se analizaron con el paquete estadístico JMP (SAS Institute, 1989, versión 3.2.5) y las comparaciones múltiples de promedios se hicieron con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Estimación del riego

Para homogenizar el nivel de humedad en el sustrato, éste se regó hasta capacidad de campo y se estimó la lámina de riego que comprende la humedad aprovechable. Los contenidos de humedad a capacidad de campo (Θ_{cc}) y punto de marchitez permanente (Θ_{pmp}) fueron 31.5 y 20 %, respectivamente

Para el cálculo de la lámina de riego se usó la fórmula: $Lr = (\Theta_{cc}-\Theta_{pmp})\bullet Pr\bullet Da$ donde: Lr = lámina de riego (cm), Θ_{cc} = capacidad de campo (%), Θ_{pmp} = punto de marchitez permanente (%), Pr = altura de la bolsa (m), Da = densidad aparente (g cm^{-3}). Después se estimó el volumen de agua para regar cada bolsa, como se describe a continuación: $R = lr\bullet A$, donde R = riego inicial (cm^3), Lr = lámina de riego (cm), A = área de la bolsa (cm^2).

El volumen de agua para los riegos posteriores se estimó en función de los tratamientos (T_1 = 60 % de la HA; T_2 = 50 % de la HA; T_3 = 40 % de la HA; T_4 = 30 % de la HA; y T_5 = 20 % de la HA) y del área de la bolsa. La aplicación del riego se hizo en forma manual a las 8 h, cada segundo día.

Fertilización

Se aplicó la dosis recomendada por Soria *et al.* (2002) para chile habanero (250N-200P-300K, kg ha^{-1}) distribuida en cuatro etapas fenológicas (trasplante, desarrollo, fructificación y producción). La fertilización se inició 8 d después del trasplante, y se aplicó disuelta en el volumen de agua correspondiente a cada tratamiento. Las fuentes de fertilizantes utilizados fueron urea (46N-00P-00K), nitrato de potasio (13N-02P-44K) y fosfato monoamónico (12N-61P- 00K).

Variables evaluadas

El contenido de humedad del sustrato se midió cada 2 d antes de aplicar el riego. Para ello, en una bolsa por cada unidad experimental se obtuvo una muestra del sustrato a una profundidad de 20 cm con una barrena metálica Vehimeyer de 2 cm de diámetro. El contenido de humedad se estimó con el método gravimétrico, que consistió en pesar la muestra del suelo húmedo, y luego el peso seco después de secar en una estufa de aire forzado a 105 °C hasta peso constante.

El potencial hídrico foliar (Ψ_h) se midió con una bomba de presión Scholander (Soil moisture Equipment Corp®., Mod. 3115) según la metodología de Scholander *et al.* (1964), cada 30 d a las 13:00 h. La medición se hizo en una hoja sana, totalmente desarrollada y expuesta al sol de cada tratamiento y cada repetición. La lectura del manómetro del equipo se hizo en megapascales (MPa).

El crecimiento de planta se evaluó mediante la altura final del tallo (longitud desde la base hasta el último ápice foliar) y del área de las hojas por medio con un integrador de área foliar marca LI-3100® (LI-COR, Inc. Lincoln, NE, USA). En ambos casos las mediciones fueron al final del ciclo y en todas las plantas establecidas.

Al final del experimento, en cinco plantas de cada repetición se midió el volumen de raíces con una probeta de vidrio de 1000 mL, a la que se aplicó agua hasta alcanzar un volumen de 500 mL; en dicho volumen se sumergió el sistema radical previamente lavado y cortado, para registrar el volumen desplazado. Además, en igual número de plantas por repetición.

Se cuantificó la biomasa para lo cual se separaron los órganos de la planta; tallo, hoja y raíz se depositaron en una bolsa de papel, y los frutos en otra. Los órganos se secaron en una estufa de aire forzado a 65 °C hasta peso constante. La biomasa total se obtuvo de la suma de todos los órganos de la planta.

El rendimiento total se consideró como el peso fresco del fruto por planta y se obtuvo de la suma de siete cortes (cosechas). Además se midió el peso promedio de cinco frutos seleccionados al azar de cada repetición.

El índice de cosecha (IC) se calculó al dividir el peso seco de los frutos entre la biomasa total por planta, y el índice de productividad del agua (IPA) como el cociente entre el rendimiento y el volumen de agua total aplicado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido de humedad y potencial hídrico foliar

Se observó una relación directamente proporcional entre el contenido de humedad y el potencial hídrico de la hoja. En los tratamientos T_1 y T_2 se registraron los valores más altos de contenido de humedad del sustrato y de potencial hídrico foliar. El tratamiento con menos riego (T_5) fue donde se registró el menor potencial hídrico y menor humedad del sustrato (Cuadro 1). Estos resultados son similares a los reportados por Godoy *et al.* (2005) e Ismail (2010), quienes indicaron que a menor disponibilidad del agua en el suelo es menor también el potencial hídrico.

Cuadro 1. Contenido de humedad del sustrato y potencial hídrico foliar (± errores estándar) de *Capsicum chinense* cultivado en cinco niveles de humedad aprovechable (tratamientos) en condiciones protegidas, en Yucatán, México.

HA† (%)	Contenido de humedad del sustrato†† (%)	Ψ_h foliar†† (MPa)
60(T_1)	28.5±2.0 a	-2.15±1.0 a
50(T_2)	26.5±1.6 b	-2.1±0.7 a
40(T_3)	24.5±1.8 c	-2.32±1.3 b
30(T_4)	23.5±1.1 cd	-2.3±1.6 b
20(T_5)	22.2±2.0 d	-2.58±1.4 c

Medias con letras iguales en cada columna son iguales estadísticamente (Tukey, 0.05);
HA = humedad aprovechable, en porcentaje; ††promedios de los muestreos efectuados durante el ciclo.

Efecto de los niveles de humedad en el crecimiento de la planta

La altura de la planta y el área foliar fueron mayores con el T_1 ($P \leq 0.05$) (Cuadro 2) debido al mayor contenido y disponibilidad de humedad en el sustrato; en cambio, en los tratamientos con menos riego el crecimiento fue bajo. Al respecto, Hsiao (1973) mencionó que el déficit de agua restringe el crecimiento celular, lo que se traduce en menor expansión foliar y crecimiento del tallo; similarmente, Balaguera *et al.* (2008) indicaron que con menor presión de turgencia debido a un déficit hídrico, hay menos área foliar y más cierre estomático.

El mayor volumen de raíces se registró en los tratamientos T_2 y T_3, que superaron ($P \leq 0.05$) a los tratamientos T_4 y T_5. El menor volumen de raíz puede deberse a un efecto de costo-beneficio, ya que a menor volumen radical más área foliar y, por tanto, la distribución de los fotoasimilados pudo favorecer más a la parte aérea que a la parte subterránea, de modo que hubo menor crecimiento de la raíz. En contraste, en el T_2 la distribución de fotoasimilados fue similar en raíz y en parte área. Según Casierra y Rodríguez (2006), la distribución de fotoasimilados en la planta incide directamente sobre la relación raíz:tallo, distribución que es modificada por las condiciones del ambiente y por la capacidad genética y fisiológica de la planta.

La producción de biomasa total fue mayor ($P \leq 0.05$) en los tratamientos con 60 y 50 % de la humedad aprovechable (Cuadro 2), que el resto de los tratamientos. Al respecto, Salisbury y Ross (2000) indicaron que en una planta sometida a déficit hídrico las hojas se desarrollan menos y tienen menos área foliar. Es decir, la producción del cultivo se correlaciona directamente con la disponibilidad de agua en el suelo, como señalaron Gencoglan *et al.* (2006). En *C. annuum* se han encontrado resultados diferentes; por ejemplo, Jaimez (2000) no detectó diferencias en la materia seca producida en tres frecuencias riego (cada 3, 6 y 9 d con la misma cantidad de agua).

Rendimiento, tamaño de fruto e índice de productividad del agua

El tratamiento con mayor nivel de humedad (T_1, 60 % de la HA) fue en el que el rendimiento y peso de frutos fueron más altos con respecto a los otros tratamientos. El menor rendimiento y menor tamaño de frutos se registraron en T_4 y T_5, que corresponden a 30 y 20 % de HA (Cuadro 3). Estos resultados coinciden con lo reportados por Pérez *et al.* (2008), quienes observaron una disminución en el rendimiento de *C. chínense* Jacq. debido al déficit de agua. En maíz (*Zea mays* L.), Zarco *et al.* (2005) reportaron que al mantener la humedad aprovechable en por menos 60 % se incrementa el rendimiento, en contraste con las plantas sometidas a sequía. Sin embargo, una mayor cantidad de riego no siempre se traduce en más rendimiento, como el caso observado por Pérez *et al.* (2008) quienes registraron una disminución de 15 % en el rendimiento de chile habanero al aplicar 40 % más de riego.

Cuadro 2. Altura de planta, área foliar, volumen de raíces y biomasa (± errores estándar) de *Capsicum chinense* crecido en cinco niveles de humedad aprovechable del sustrato en condiciones protegidas, en Yucatán, México.

HA† (%)	Altura (cm)	Área foliar (cm^2)	Volumen de raíces (cm^3)	Biomasa seca total (g/planta)
60(T_1)	141.1±6.3 a	9419.1±615.5 a	61.3±5.5 ab	186.2±6.1 a
50(T_2)	129.8±3.9 ab	8111.1±645.9 ab	73.8±2.9 a	172.7±3.9 a
40(T_3)	124.9±7.3 b	6243.4±826.7 bc	70.0±6.8 a	149.6±5.8 b
30(T_4)	117.3±4.4 b	4943.9±559.8 c	50.0±2.4 bc	128.1±3.6 c
20(T_5)	103.9±1.8 c	4178.9±545.4 c	40.0±2.7 c	100.1±3.6 d

Medias con letras iguales en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05); †HA = humedad aprovechable, en porcentaje.

Cuadro 3. Rendimiento, índice de cosecha e índice de productividad del agua (± errores estándar) en *Capsicum chinense* cultivado con cinco niveles de humedad aprovechable (tratamientos) del sustrato en condiciones protegidas, en Yucatán, México.

HA† (%)	Rendimiento (g/planta)	Peso de fruto (g)	IPA (g L^{-1})	IC
60(T_1)	547.7±35.5 a	6.4±0.1 a	5.6±0.3 a	0.3±0.01 a
50(T_2)	382.7±34.7 b	6.4±0.2 a	4.7±0.4 ab	0.3±0.02 a
40(T_3)	300.9±21.7 b	5.9±0.1 ab	4.7±0.3 ab	0.3±0.01 a
30(T_4)	178.8±15.6 c	5.4±0.1 bc	3.7±0.3 bc	0.2±0.02 a
20(T_5)	83.0±10.5 c	4.9±0.1 c	2.6±0.3 c	0.2±0.01 b

Medias con letras iguales en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05); †HA = humedad aprovechable, en porcentaje; IPA = índice de productividad del agua; IC = índice de cosecha.

El índice de productividad del agua (IPA) fue mayor ($P \leq 0.05$) con 60 % de HA, que en T_4 y T_5, con 30 y 20 % de HA (Cuadro 3), respuesta que es directamente proporcional con el rendimiento. En cambio, en un trabajo hecho en *C. annuum* el uso del agua mejoró con 30 % menos de riego pero hubo una disminución de 40 % en el rendimiento (Ismail, 2010). El alto valor de IPA en el T_1 se atribuye al equilibrio del estado energético del agua en el sustrato, ya que una lámina del 60 % de la humedad aprovechable genera una mejor condición hídrica y a su vez mayor producción de biomasa que los riegos con menores niveles de HA. El índice de cosecha sólo fue menor ($P \leq 0.05$) con el T_5 que correspondió al mínimo nivel de HA aplicado (20 %).

CONCLUSIONES

En ambientes protegidos, aplicar cada segundo día una lámina de riego equivalente a 60 % de la humedad aprovechable en el sustrato proporcionó mejores condiciones hídricas para el crecimiento y desarrollo de la planta de chile habanero, ya que la planta tuvo mayor crecimiento, en comparación con niveles inferiores de HA. Además, las plantas expuestas a estas condiciones de humedad incrementan el tamaño del fruto, el rendimiento y el índice de productividad del agua, en comparación con el tratamiento con 20 % de HA en el que disminuyó el potencial hídrico foliar y produjo un menor rendimiento de fruto.

BIBLIOGRAFÍA

Balaguera H E, J G Álvarez H, J D Rodríguez (2008) Efecto del déficit de agua en el trasplante de plántulas de tomate (*Lycopersicum esculentum* L.). Agron. Colomb. 26:246-255.

Casierra P F, S Rodríguez (2006) Tolerancia de plantas de feijoa (*Accasellowiana* [Berg] Burret) a la salinidad por NaCl. Agron. Colomb. 24:258-265.

Gao JP, DYChao, HXLin (2007) Understanding abiotic stress tolerance mechanisms: recent studies on stress response in rice. J. Integrative Plant Biol. 49:742-750.

Gencoglan C, I E Akinci, KUcan, S Akinci,S Gencoglan (2006) Response of red hot pepper plants (*Capsicum annuum* L.) to the deficit irrigation. Akdeniz Üniv. Ziraat Fak. Dergisi 19:131-138.

Godoy A C, Z Xopiyaxtle J, I Reyes J y C A Torres E (2005) Comportamiento hídrico de hojas y frutos de nogal pecanero y su relación con la calidad y germinación de frutos. TERRA Latinoam. 23:505-513.

González M A, B A Hernández L (2000) Estimación de las necesidades hídricas del Tomate. TERRA Latinoam. 18:45-50.

Hsiao TC (1973) Plant responses to water stress. Ann. Rev. Plant Physiol. 24:519-570.

Ismail S M (2010) Influence of deficit irrigation on water use efficiency and bird pepper production (*Capsicum annum* L.). Meteor. Environ. Arid Land Agric. Sci. 21:29-43.

Jaimez R E (2000) Crecimiento y distribución de materia seca en ají dulce bajo condiciones de déficit de agua. Agron. Trop. 50:189-200.

May L C, A Pérez G, E Ruiz S, A E Ic C, A García R (2011) Efecto de niveles de humedad en el crecimiento y potencial hídrico de *Capsicum chínense* Jacq. y su relación con el desarrollo de *Bemisia tabaci* Genn. Trop. Subtrop. Agroecosyst.14:1039-1045.

Méndez N J R, L Lara, J A Gil M (2007) Efecto del riego por goteo en el crecimiento inicial de tres cultivares de algodón (*Gossypium hirsutum* L.). Idesia 25:7-15.

Parra Q R A, J L Rodríguez O, V A González H (1999) Transpiración, potencial hídrico y prolina en zarzamora bajo déficit hídrico.TERRA Latinoam. 17:125-130.

Pérez G A, A Pineda D, L Latournerie M, W Pam P, C Godoy A (2008) Niveles de evapotranspiración potencial en la producción de chile habanero. TERRA Latinoam. 26:53-59.

Rada F, R E Jaimez, C García Núñez, A Azócar, M E Ramírez (2005) Relaciones hídricas e intercambio de gases en *Theobroma cacao* var. Guasare bajo periodos de déficit hídrico. Rev. Fac. Agron. (LUZ) 22:112-120.

Salisbury F B, C W Ross (2000) Fisiología de las Plantas. Ed. Paraninfo Thomson Learning, Madrid. 758 p.

SAS, Statistical Analysis System (1989) User's Guide: Basics. Versión JMP 3.2.5. SAS Institute. Cary, NC, USA.

Soria F M J, J A Trejo R, J M Tun S, R Terán S (2002) Paquete Tecnológico para la Producción de Chile Habanero. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 2. Conkal, Yucatán, México. 416 p.

Scholander P F, H T Hammel, E D Badstret (1964) Sap pressure in vascular plants. Proc. Nat. Acad. Sci. 52:119-125.

Zarco P E, V A González H, M C López P, Y Salinas M (2005) Marcadores fisiológicos de la tolerancia a sequía en maíz (*Zea mays* L.). Agrociencia 39:517-528.