

PRODUCCIÓN DE CHILE DULCE EN INVERNADERO BAJO DIFERENTES NIVELES DE AGOTAMIENTO EN LA HUMEDAD DEL SUSTRATO

*Gustavo Quesada Roldán**

Palabras clave: Riego; rendimiento comercial; ambientes protegidos; solanáceas.

Keywords: Watering; yield; protected environment; solanaceae.

Recibido: 22/04/14

Aceptado: 08/09/14

RESUMEN

Se evaluó el efecto de 3 niveles de humedad en el sustrato sobre el crecimiento y producción comercial de 2 híbridos de chile dulce establecidos bajo condiciones de invernadero. El ensayo se efectuó en el invernadero multicapilla de la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno en La Garita, Alajuela, y los materiales evaluados fueron los híbridos Villaplants Americano (de fruta cuadrada tipo blocky color amarillo) y FBM-9 (de fruta cónica color rojo), ambos genotipos de origen nacional. El primer tratamiento consistió en el suministro de agua a la planta a capacidad de campo (CC) mientras que al segundo y tercer tratamiento se le restó a la planta el 15 y el 30%, respectivamente, de ese aporte original de agua. Se demostró que no hay un efecto en la cantidad de agua suministrada sobre el crecimiento de la planta aunque sí se observó que plantas sometidas a estrés hídrico comenzaron primero su fase de floración y fructificación. Para ambos híbridos se obtuvo una disminución en la cantidad de frutos de primera y segunda, y un aumento en fruta de rechazo, conforme se limitó el riego. La pudrición apical fue la principal causa de rechazo producto de la falta de agua, asociado con la poca disponibilidad de calcio. El rendimiento comercial más alto se obtuvo con el híbrido Villaplants Americano (31,8 ton.ha⁻¹), aunque sin deferencia estadística entre sustratos a CC y CC-15%, pese a que sí

ABSTRACT

Sweet pepper greenhouse production under different depletion levels in substrate humidity. The effect of 3 substrate humidity levels on the growth and yield of 2 sweet pepper hybrids, established under greenhouse conditions, was evaluated. The experiment was held in the industrial greenhouse of the Fabio Baudrit Moreno Experimental Research Station, in La Garita (Alajuela), and the materials evaluated were the hybrids Villaplants Americano (square yellow fruit, bell type) and FBM-9 (triangular red fruit type), both national origin genotypes. The first treatment was to supply water at container capacity (CC) to the plant, while the second and third ones were reducing 15 and 30%, respectively, of the plant original water supply. It was demonstrated that there is no effect due to the amount of water supply on the plant's growth, although it was observed that hydric-stressed plants were the first to begin the flowering and fruiting phase. In both hybrids, a reduction in the amount of first and second one amount quality fruit and an increasing of fruit rejected as the watering was limited. Blossom-end rot was the main rejection cause due to the water loss, associated with low calcium availability. The highest commercial yield was obtained with the Villaplants Americano hybrid (31,8 ton.ha⁻¹), although without statistical difference between substrates at CC and CC-15%, despite a fruit

* Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno. Universidad de Costa Rica, Costa Rica.

Autor para correspondencia. Correo electrónico: gustavo.quesada@ucr.ac.cr

disminuyó la calidad de la fruta con ese último tratamiento. Lo mismo se observó para el híbrido FBM-9. Con el tratamiento CC-30% se afectó tanto el rendimiento comercial como la calidad de la fruta, en ambos híbridos.

quality reduction with the later treatment. The same was observed with the FBM-9 hybrid. With the CC-30% treatment, both commercial yield and fruit quality were affected, in both hybrids.

INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de agua es uno de los factores en un sistema productivo que define el rendimiento de un cultivo. Al mismo tiempo el agua de calidad es un recurso estratégico cada vez más limitado por lo que su uso eficiente es muy valorado. Según Villalobos 2001, entre un 80 y un 90% del agua que sale de la planta en forma de vapor lo hace por medio de la transpiración estomática ya que es una circulación de agua también importante para evitar el calentamiento de la planta y favorecer el movimiento de solutos y minerales. Si el marchitamiento temporal ocurre consistentemente, las hojas comienzan a tomar color amarillo y tanto el crecimiento como su desarrollo por lo general se retardan; mientras que las hojas se expanden más lentamente, son más pequeñas y envejecen más rápidamente. (Gliessmann 2002, Villalobos 2001). Si ese periodo de falta de agua es aún más severo se llega al punto de marchitez permanente (PMP), momento a partir del cual la planta cesa sus actividades metabólicas e ingresa a fase de senescencia.

En condiciones de invernadero, la planta recibe únicamente el agua según previa programación. Así el suministro de agua debe de realizarse con criterio técnico que responda a su consumo real, a las condiciones del ambiente y al potencial hídrico de la planta en función además, del equilibrio dado por la absorción y la transpiración (Chartzoulakis y Drosos 1997, Andriolo 1999, Metin Sezen et ál. 2006). Estas condiciones son representadas por la evapotranspiración

potencial y por las características propias de cada especie definidas por la constante de cultivo, la cual integra las características fisiológicas, morfológicas y anatómicas de la especie (Calvo 2005, Allen et ál. 1998).

En el caso de hortalizas de fruto como chile o tomate, el déficit hídrico provoca la reducción de la actividad fotosintética y además el transporte de sacarosa disminuye al igual que el crecimiento celular. Todo esto favorece el aborto de los frutos y por tanto el rendimiento de la actividad se afecta. Igualmente la falta de humedad en el sustrato durante el llenado del fruto puede favorecer la aparición de reventaduras en los mismos. (Jovicich et ál. 2007).

El común empleo de sustratos para la producción comercial de hortalizas en ambientes protegidos como los invernaderos, presenta un reto y un replanteamiento conceptual en la programación del riego convencional, ya que exige un suministro de muy alta frecuencia y gran precisión dado el limitado volumen de sustrato disponible con el que normalmente se trabaja para cada planta. De acuerdo con Ojeda 2004, el diseño de una estrategia de riego en ambientes protegidos es mucho más crítico en sustratos que en el suelo, puesto que los sustratos especialmente los inorgánicos no poseen una alta capacidad de retención de humedad por lo que se requiere un riego constante y eficiente.

Asimismo, para la producción en sustratos disponer de agua de buena calidad y en la cantidad requerida por la planta, es fundamental para asegurar un buen aprovechamiento de las soluciones nutritivas, pues comúnmente

el empleo de fertirriego es la norma en estos sistemas de producción (Takane et ál. 2013). A partir del conocimiento sobre la cantidad óptima de agua y nutrientes que demanda el cultivo del chile dulce, se evitarán consumos excesivos y el consecuente desperdicio, pero también se asegurará que el suministro hídrico no se limite a un nivel que vaya en detrimento de la producción.

Uno de los desafíos de la producción vegetal en invernaderos es mantener el equilibrio apropiado entre el crecimiento reproductivo (frutos) y el vegetativo (hojas) (Peil y Galvez 2005). Para esto existen diversas técnicas una de las cuales es la manipulación del suministro de agua. Según lo anterior, determinar la eficiencia en el suministro de agua, plantea en esta investigación, el objetivo general de identificar el efecto de 3 niveles de agotamiento de humedad en el sustrato sobre el desarrollo y la producción comercial de plantas de 2 materiales de chile dulce producidos en invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se desarrolló en el invernadero multicapilla de la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit (EEAFB) de la Universidad de Costa Rica ubicado en La Garita, Alajuela, a 840 msnm, a una latitud norte de 10°00'396" y una longitud oeste de 84°15'970".

Se diseñaron 3 programas de riego: T1) testigo o capacidad de campo. T2) capacidad de campo menos el 15% de humedad en el sustrato. T3) capacidad de campo menos el 30% de humedad en el sustrato. Se alcanzó la capacidad de campo del sustrato cuando los sacos (tabletas) con el sustrato de fibra de coco comenzaron a drenar levemente. Ese drenaje era fácil de observar por la presencia de humedad en el piso del invernadero (ground cover) y por calibración de los tiempos de riego, se llegó al punto exacto donde los sacos comenzaban a drenar. Los materiales con los que se trabajó fueron el híbrido de chile dulce FBM-9, desarrollado por el proyecto de Mejora Genética del Programa de Hortalizas de la EEAFB y el híbrido Villaplants Americano F-1 de la empresa Villaplants. El primero de ellos presenta una fruta tipo lamuyo y cónica de color rojo al madurar, mientras que el segundo es cuadrado del tipo blocky y de color amarillo cuando madura. El Cuadro 1 resume los tratamientos que se diseñaron.

Para los 2 híbridos se confeccionaron almácigos en las mismas instalaciones de la EEAFB. Se utilizó como sustrato una mezcla de fibra de coco (50%) + *peat moss* (50%) y los almácigos se asistieron con 12 riegos cortos diarios de un minuto por microaspersión y 2 fertilizaciones semanales vía fertirriego con soluciones de 12-60-0 y 20-20-20 ambos a una concentración de 2,5 g.l⁻¹. Para

Cuadro 1. Tratamientos de niveles de agotamiento de humedad en sustrato cultivado con chile dulce. Alajuela, 2011.

Identificación	Tratamiento
T1U	Sustrato a CC ¹ Híbrido FBM-9
T2U	Sustrato CC -15% humedad Híbrido FBM-9
T3U	Sustrato CC -30% humedad Híbrido FBM-9
T1B	Sustrato a CC Híbrido Villaplants Americano
T2B	Sustrato a CC -15% humedad Híbrido Villaplants Americano
T3B	Sustrato a CC -30% humedad Híbrido Villaplants Americano

¹capacidad de campo.

el establecimiento del cultivo se utilizó una distancia entre plantas de 0,40 m y de 1,6 m entre hileras, y como sustrato pacas (tabletas) de fibra de coco de 1 m de largo. Bajo este sistema se dispuso de 1,56 plantas por metro cuadrado (15 625 plantas.ha⁻¹).

El riego se realizó en forma diaria mediante un sistema presurizado con poliducto, pajillas y goteros. La descarga promedio de los goteros fue de 0,97 l.h⁻¹ y el coeficiente de uniformidad del sistema estuvo cercano al 94,9%. En relación

con la frecuencia, la misma fue igual para todos los tratamientos, y se realizó un evento de riego cada hora desde las 7 de la mañana hasta las 4 de la tarde. El uso de 3 válvulas solenoides dispuestas en el sistema de riego permitió la aplicación correcta y diferenciada de los tratamientos, especialmente en cuanto al tiempo de riego, que determinó la cantidad de agua suministrada. En el Cuadro 2 se muestran los programas diarios de riego empleados para ambos híbridos con la descarga en litros por planta en el tiempo.

Cuadro 2. Programa de riego diario por planta por tratamiento empleado para ambos híbridos según edad del cultivo en 2 híbridos de chile dulce cultivados en invernadero. Alajuela, 2011.

Edad Cultivo	Programa Riego 1		Programa Riego 2		Programa Riego 3	
	Minutos	Descarga l/H ₂ O	Minutos	Descarga l/H ₂ O	Minutos	Descarga l/H ₂ O
Transplante – 94 ddt	44	0,71	38	0,61	30	0,48
94 ddt – fin del ciclo	60	0,97	51	0,82	42	0,68

El incremento en los tiempos de riego en función de la edad de la planta correspondió al aumento de sus requerimientos dado el desarrollo fenológico y a las condiciones del ambiente. En

la Figura 1 se muestran las máximas, mínimas y promedios de temperatura y humedad relativa registrados en el invernadero durante el periodo de evaluación.

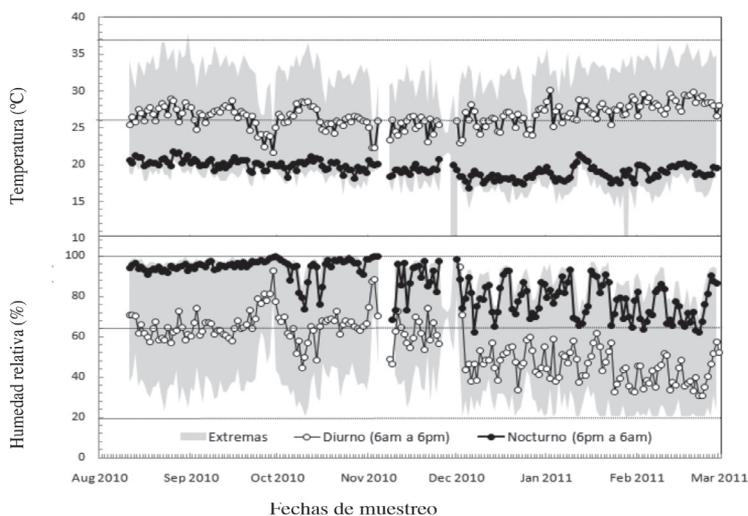


Fig. 1. Valores mínimos, máximos y promedios de las variables ambientales de temperatura y humedad relativa registrados en el invernadero de la EEFB. Alajuela, 2011.

El manejo de la fertilización se hizo mediante la estrategia que se muestra en el Cuadro 3.

Con el anterior programa, se aplicaron 3 fertirriegos semanales calendarizados los días lunes, miércoles y viernes durante todo el ciclo del cultivo, modificándolo según la etapa fenológica en la que se encontraba. Para

la aplicación de la solución nutritiva se utilizó un inyector dosificador hidráulico (Dosatron) que garantizó la distribución uniforme del fertilizante. Se complementó con aplicaciones de microelementos como B, Zn, Fe, Mn, Cu y Mo vía sistema de fertirriego y/o aplicaciones foliares.

Cuadro 3. Esquema de fertilización utilizado para la producción de chile dulce en invernadero en g del elemento por cada 500 plantas. Alajuela, 2011.

Etapa Fenológica	Nutrición promedio diaria (g/500 pl)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Transplante – Cuaje primeros frutos	11,5	60	30	4	2,5
Cuaje primeros frutos – Primeras cosechas	90	45	165	20	13,5
Primeras cosechas – Plena producción	75	45	150	20	13,5

El diseño experimental implementado fue un bifactorial con parcelas divididas en franjas. Se trabajó con 4 repeticiones; cada repetición con 6 sacos de fibra de coco por híbrido y 3 plantas por saco. Esto generó un total de 18 plantas por híbrido por repetición, 72 plantas por híbrido por tratamiento. En total, para los 3 tratamientos, 216 plantas por híbrido en el área útil del ensayo. Se dejó como borde una hilera de sacos en los extremos laterales del ensayo y al inicio y final de cada hilera de siembra. El área total del ensayo fue de aproximadamente 400 m² y se mantuvo en campo por un periodo total de 6 meses exactos, de agosto 2010 a febrero 2011.

Como parámetros de evaluación, desde los 75 ddt (inicio de cosecha) se registró el rendimiento comercial, que permitió la clasificación del chile como primera, segunda calidad y rechazo. Para el híbrido FBM-9 la fruta de primera tenía al menos 12 cm de longitud, sin deformaciones ni manchas o lesiones; la fruta de segunda era menor de 12 cm de longitud, y podían presentar deformaciones leves o lesiones en no más de 1 cm² de la pared del fruto. Lo que no clasificara en estas categorías se catalogaba como rechazo. Para el híbrido Villaplants Americano, la fruta de primera era de

forma cuadrada definida con un tamaño mínimo de 7,5 x 7,5 cm, las puntas bien definidas y sin ningún tipo de lesiones. La fruta de segunda podía ser de un tamaño menor a 7,5 x 7,5 cm, con puntas levemente deformes y lesiones no mayores a 1 cm² en la pared del fruto. Lo que no clasificara en estas categorías se catalogaba igualmente como rechazo.

Se evaluó el número y peso de los frutos por cada categoría clasificados como variables de rendimiento, en un total de 16 cosechas efectuadas. Además en 2 momentos del ciclo del cultivo, se hizo un muestreo destructivo, a partir de una planta típica por repetición por tratamiento (4 plantas en total por tratamiento) para registrar en la primera evaluación (44 ddt) el número de flores y frutos, el área foliar (mediante medidor Li-Cor 3100) y el peso seco total de la planta. En la segunda evaluación (176 ddt) únicamente se estimó la altura de la planta, el área foliar y el peso seco total de la planta. Todas las evaluaciones consideradas fueron objeto de la respectiva estadística a través de un análisis de varianza. La separación de las medias de los tratamientos se hizo mediante la prueba LSD Fisher al 5%, por medio del paquete estadístico InfoStat, desarrollado por la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desarrollo de la planta

En el Cuadro 4 se muestran los resultados de la primera evaluación de los parámetros de desarrollo de la planta a los 44 ddt.

De acuerdo con el cuadro anterior, a nivel de desarrollo de planta no es tan notoria la diferencia entre tratamientos en la primera parte del ciclo del cultivo. Sí podría destacarse para el híbrido FBM-9 un mayor desarrollo de la planta en el tratamiento de mayor estrés hídrico, evidenciado en la diferencia estadística mostrada para las variables de número de flores, número de frutos y peso seco. Tal condición implicó

un aceleramiento en el desarrollo y crecimiento de la planta dadas las condiciones adversas de suministro de agua de este tratamiento. Una planta que sufre de condiciones de estrés hídrico se estimula y más rápidamente ingresa en su fase reproductiva, que obliga tempranamente la floración, fructificación y formación de semillas (Gliessmann 2002, Waller 2004), lo que en este caso sí se cumplió. En el caso del híbrido Villaplants Americano, prácticamente no se diferenciaron los tratamientos en el número de flores y frutos, pero sí se encontró una tendencia a mayor área foliar y peso seco en el tratamiento con el suministro de agua a capacidad de campo, aunque sin diferencia estadística.

Cuadro 4. Promedio de número de flores y frutos, área foliar y peso seco de la parte aérea de una planta típica en 2 híbridos de chile dulce sometidos a diferentes niveles de agotamiento de agua bajo condiciones de invernadero. Alajuela, 2011.

Tratamiento	Híbrido	Nº. Flores	Nº. Frutos	Área foliar (cm ²)	Peso seco (g)
T1U	FBM-9	33 b	8 c	2751,0 a	33,2 b
T2U	FBM-9	30 b	10 bc	2792,4 a	35,5 b
T3U	FBM-9	40 a	15 a	3241,4 a	46,1 a
T1B	Villaplants Americano	28 b	12 ab	3248,3 a	45,3 a
T2B	Villaplants Americano	31 b	11 abc	2900,5 a	40,3 ab
T3B	Villaplants Americano	29 b	13 ab	3078,5 a	41,7 ab

La evaluación de área foliar y peso seco se retomó hacia el final del ciclo del chile (176 ddt), incluyendo además la variable altura. Los datos se muestran en el Cuadro 5. Las

hortalizas consumen más agua en los estados finales de su crecimiento, cuando el tamaño y área foliar son mayores y por lo tanto la demanda de agua crece.

Cuadro 5. Promedio de altura, área foliar y peso seco de la parte aérea de una planta típica en 2 híbridos de chile dulce sometidos a 3 niveles de agotamiento de agua bajo condiciones de invernadero. Alajuela, 2011.

Tratamiento	Híbrido	Altura (cm)	Área foliar (cm ²)	Peso seco (g)
T1U	FBM-9	121,3 a	9797,4 a	193,5 b
T2U	FBM-9	124,5 a	11514,6 a	231,4 a
T3U	FBM-9	112,3 ab	8449,7 a	206,7 b
T1B	Villaplants Americano	82,8 b	9066,2 a	178,3 c
T2B	Villaplants Americano	79,3 b	12009,2 a	180,2 c
T3B	Villaplants Americano	83,5 b	10708,5 a	187,4 bc

Del Cuadro 5 se destaca que no aparenta haber una relación clara entre el contenido de agua disponible y el desarrollo de una planta hacia el final del ciclo que presenta plantas en edad más avanzada. En el híbrido de Villaplants los valores de altura, área foliar y peso seco son muy similares y sin diferencia estadística. Para el segundo material evaluado, el tratamiento T3U (CC – 30% humedad) fue el de menor desarrollo de altura y área foliar, pero sin significancia estadística. El mayor acúmulo de peso seco en este mismo híbrido se dio con el tratamiento T2U (CC – 15% humedad). Si se comparan ambos genotipos, se encuentra que el híbrido FBM-9 es un material que desarrolla más altura y peso seco en su parte aérea, pero no necesariamente más área foliar que el híbrido de Villaplants, condición que responde únicamente a la genética de los materiales.

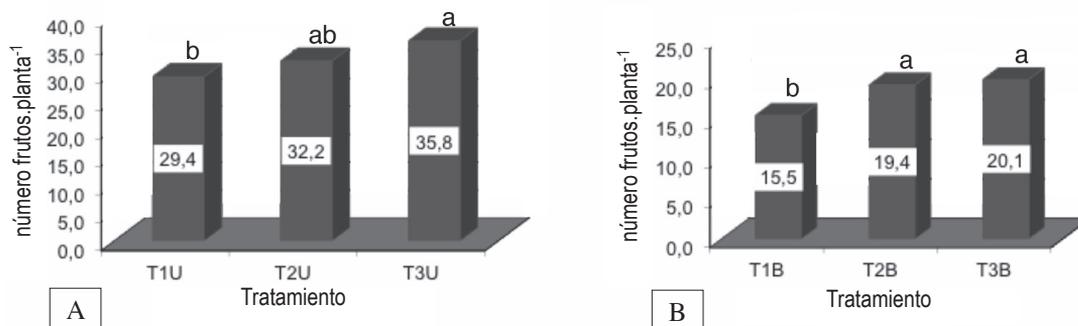
Pese a que los anteriores resultados no son contundentes en el efecto del estrés hídrico sobre el desarrollo de la planta, sí es importante anotar que especialmente después de los 75 ddt, se empezó a observar el marchitamiento de la planta principalmente en el tratamiento de CC – 30% humedad. Esto porque evidentemente conforme la planta creció, la demanda por agua también se incrementó. Este fue un indicador de que efectivamente la planta sufrió por el reducido aporte de agua suministrado, lo que si bien no afectó contundentemente el desarrollo de la planta sí lo hizo con el rendimiento como se discute a continuación.

VARIABLES DE RENDIMIENTO

a. Número de frutos

El número total de frutos por planta a partir de todas las categorías analizadas se muestra en la Figura 2 para los 2 híbridos. Estadísticamente se diferencian los tratamientos T1 y T3 para ambos híbridos. Presenta mayor cantidad de frutos el tratamiento con menor suministro de agua (T3) pero sin diferencia estadística significativa del tratamiento con menos 15% de agua (T2). Esto tiene sentido ya que una estrategia de defensa de la planta ante una condición adversa como el estrés hídrico, es aumentar el número de frutos para tratar de garantizarse mayor producción de semilla y eventualmente una mayor supervivencia. Los tratamientos 2 y 3 para los 2 híbridos evaluados no mostraron diferencia estadística, lo que de nuevo sugiere el efecto del estrés hídrico sobre la prolificidad de la planta.

Es destacable que el material FBM-9 es bastante más prolífico que el material Villaplants Americano; el híbrido de la Universidad está cerca de doblar el número de frutos por planta del híbrido de Villaplants. Los híbridos con fruta de tipo cónica por lo general presentan mayor número de frutos por planta en comparación a los híbridos de tipo cuadrado, porque el pericarpio de los segundos es mucho más grueso, con los frutos más pesados lo que afecta su prolificidad.



Barras con igual letra no difieren estadísticamente según prueba de LSD Fisher ($p < 0,05$).

Fig. 2. Número de frutos totales por planta en los híbridos de Chile dulce FBM-9 (A) y Villaplants Americano (B) sometidos a 3 niveles de agotamiento de agua en condición de invernadero. Alajuela, 2011.

Al analizar el número de frutos por planta (Cuadro 6), se observa un aumento consistente en la fruta de rechazo y una disminución gradual en las frutas de primera y segunda categoría conforme decreció el suministro de agua a la planta; el mismo comportamiento se presentó en los 2 híbridos evaluados. Una de las principales razones por las que se puede presentar fruta de rechazo, es por un nivel deficiente de humedad en el sustrato (Metin Sezen et ál. 2006). El fruto es un órgano altamente demandante de agua y cuando se presenta un estrés hídrico, con frecuencia aparecen problemas como deformaciones, lesiones en la pared del fruto por deshidratación y pudrición apical. De estas, la pudrición apical fue la causa de rechazo más frecuente en esta investigación y se asocia a bajos niveles y fluctuaciones de humedad, pero también a deficiencias de calcio (Figura 3).

De acuerdo con Taylor et ál. 2004, una deficiencia localizada de calcio en la sección apical de la fruta resulta en la aparición de la pudrición apical. Debido a que el calcio es un elemento poco móvil, la deficiencia puede ocurrir producto de fluctuaciones en el suministro de agua aún por pequeños periodos de tiempo; por esta razón la falta de agua en el medio promueve la aparición del daño.

Cuadro 6. Número promedio de frutos por planta en las categorías primera, segunda y rechazo en 2 híbridos de chile dulce sometidos a 3 niveles de agotamiento de agua bajo condiciones de invernadero. Alajuela, 2011.

Tratamientos	Frutos.planta ⁻¹		
	Primera	Segunda	Rechazo
T1U	5,3 a	12,0 a	12,0 c
T2U	5,1 a	11,3 a	15,8 b
T3U	3,3 b	11,4 a	21,1 a
T1B	5,4 a	7,1 a	3,2 c
T2B	4,4 a	6,9 a	8,1 b
T3B	2,9 b	5,5 a	11,6 a

Medias con igual letra no difieren estadísticamente según prueba de LSD Fisher ($p < 0,05$).

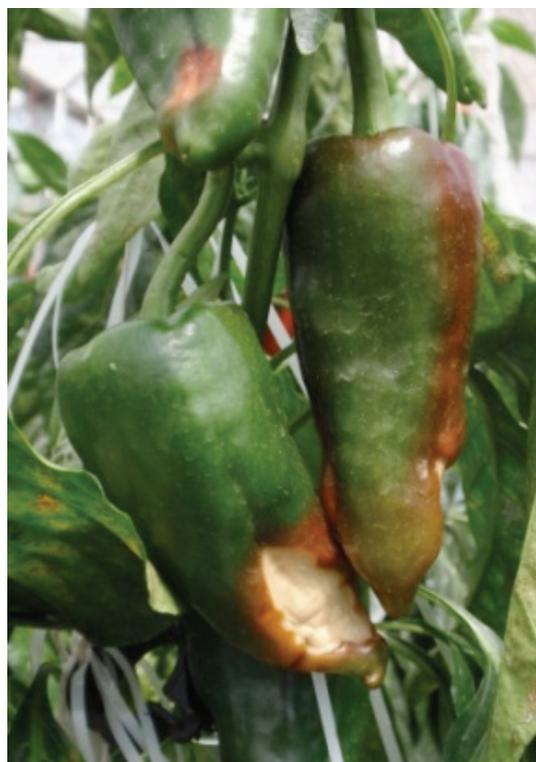


Fig. 3. Síntoma del daño en frutos del híbrido de chile dulce FBM-9 debido a deficiencias de calcio y agua en producción en invernadero. Alajuela, 2011.

Cuando el movimiento de agua hacia el fruto se altera temporalmente o cuando la planta se estresa al punto de que se reduce el flujo transpiracional, el daño por pudrición apical aumenta. Napier y Combrink 2006 indican que este desorden fisiológico se agrava en condiciones de estrés hídrico y bajo potencial osmótico, puesto que el contenido total de calcio se limita. Peet y Willits 1995 mencionan que una mayor presión de raíz causada por un exceso de agua incrementa la presión de turgencia en los frutos, lo que eventualmente favorece la rajadura de los mismos y la aparición de la pudrición apical. Debe anotarse que en este experimento no hubo frutos que mostraran reventaduras de ningún tipo. La Figura 4 muestra la distribución porcentual del número de

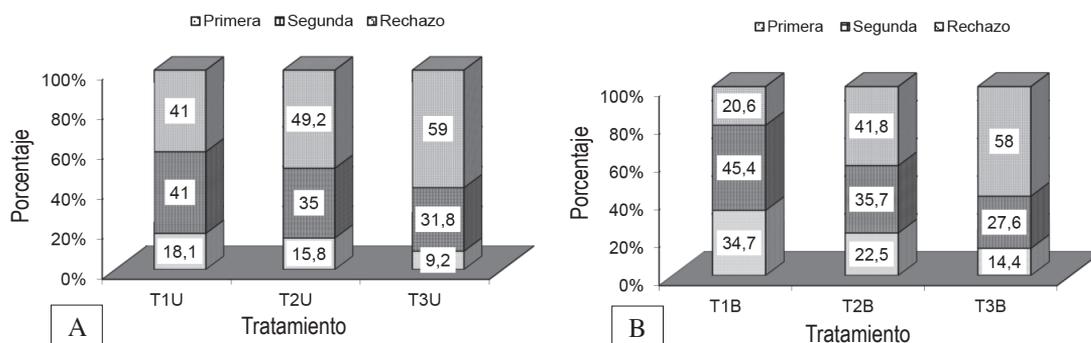


Fig. 4. Distribución porcentual del número de frutos en las categorías primera, segunda y rechazo en los híbridos de chile dulce FBM-9 (A) y Villaplants Americano (B) sometidos a 3 niveles de agotamiento de agua en condición de invernadero. Alajuela, 2011.

frutos en las diferentes categorías de acuerdo con los tratamientos y las variedades.

Como era de esperar, porcentualmente la cantidad de frutos de primera y segunda decrecieron conforme mayor fue el estrés hídrico, mientras que la fruta de rechazo se incrementó. El efecto de la deficiencia de agua igualmente quedó muy claro en esta variable, y es mucho más crítico cuando se reduce el 30% de humedad, que cuando se reduce sólo el 15%. En el caso del material FBM-9, incluso el tratamiento a capacidad de campo tuvo una importante cantidad de fruta de rechazo principalmente por pudrición apical, lo que sugiere que este material es particularmente demandante en agua y calcio.

Aunque en el híbrido Villaplants Americano la distribución porcentual de la calidad de frutos sigue el mismo patrón que para el FBM-9, se notó de forma general mayor porcentaje de frutos de primera y segunda y menor porcentaje de rechazo en este híbrido. Esto indica que este material tiende a ser más favorable en condiciones de estrés hídrico que el material FBM-9, aunque es claro que ya con un 15% menos de humedad, la calidad se desfavorece y el porcentaje de rechazo es alto (superior al 40%). Las condiciones de producción en el invernadero de la EEAFB, especialmente la condición

climatológica a lo interno del módulo con temperatura alta y baja humedad relativa (Figura 1) son poco favorables para la producción de frutos de chile dulce de mejor calidad.

b. Peso de frutos

Según el Cuadro 7 en la categoría de mayor importancia económica (frutos de primera) hay diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos de humedad con el

Cuadro 7. Peso (g) de una fruta promedio de categorías primera, segunda y rechazo en 2 híbridos de chile dulce sometidos a 3 niveles de agotamiento de agua bajo condiciones de invernadero. Alajuela, 2011.

Tratamientos	Primera	Segunda	Rechazo
T1U	114,8 a	79,8 a	50,3 a
T2U	104,9 b	75,4 a	47,5 a
T3U	97,3 c	68,0 b	46,6 a
T1B	179,4 a	146,5 a	100,7 a
T2B	178,3 a	144,2 ab	86,7 a
T3B	165,0 b	131,7 b	67,3 b

Medias con igual letra no difieren estadísticamente según prueba de LSD Fisher (p<0,05).

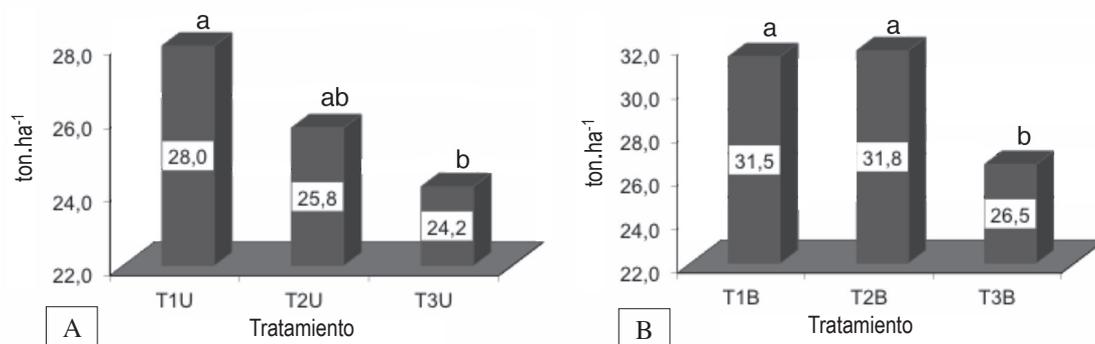
híbrido FBM-9. Conforme decreció el suministro de agua, consistentemente disminuyó el peso de la fruta. En el híbrido Villaplants Americano, no se diferenciaron los tratamientos T1B y T2B, pero sí el T3B. En la segunda categoría los tratamientos 1 y 3 se diferencian estadísticamente entre sí en ambos híbridos, pero no entre los tratamientos 1 y 2. La categoría de rechazo no se diferencia estadísticamente en ninguno de los tratamientos de los híbridos con excepción del T3B que presentó menor peso. Si bien en nuestro país el peso de la fruta de chile dulce no es la que define su valor comercial, este parámetro es un buen indicador de como el manejo del agua en un sistema productivo influye sobre la producción y calidad de las cosechas.

Resalta además que la fruta del híbrido Villaplants Americano es sustancialmente más pesada que la fruta del otro híbrido evaluado, característica que viene dada genéticamente. Esto es debido principalmente al grosor del pericarpio de la fruta cuadrada, que es notoriamente mayor al del material FBM-9. Esto para mercados de exportación es una ventaja interesante, puesto que supone una mejor apariencia y una vida poscosecha más larga, lo que es muy deseable en frutos exportables.

c. Rendimiento comercial

En Costa Rica la retribución económica de la producción de chile dulce cónico está determinada principalmente por el tamaño de la fruta y esta se clasifica en las categorías comercial y rechazo dirigidas principalmente por los mercados mayoristas. La comercial es la de importancia económica y está dada por las frutas clasificadas como primera y segunda calidad que se rigen por criterios de tamaño establecidos por el mercado. Si bien esta categorización está en función de la longitud de la fruta, tampoco descarta aspectos de calidad (forma, apariencia, firmeza) ni sanidad de la cosecha. Así, aunque un fruto cumpla con los parámetros de tamaño requeridos para determinada categoría, si incumple normas de calidad o si presenta algún daño patológico, clasifica como no comercial (rechazo). Lo anterior es igualmente válido para los chiles de tipo cuadrado o blocky, aunque para estos últimos la comercialización está más dirigida hacia supermercados y distribuidores o para exportación.

El rendimiento comercial de la producción medido en toneladas por área se presenta en la Figura 5.



Barras con igual letra no difieren estadísticamente según prueba de LSD Fisher ($p < 0,05$).

Fig. 5. Rendimiento comercial ($\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$) en los híbridos de chile dulce FBM-9 (A) y Villaplants Americano (B) sometidos a 3 niveles de agotamiento de agua en condición de invernadero. Alajuela, 2011.

Concomitantemente con las otras variables aquí analizadas, es claro que reducir en un 30% la humedad en el sustrato afecta estadísticamente el rendimiento alcanzado por ambos híbridos. Los niveles fotosintéticos declinan en una hoja estresada por falta de agua, y gran cantidad de fotosintatos son asimilados y almacenados en las raíces de las plantas, lo que provoca una reducción en la cosecha (Gliessmann 2002, Metin Sezen et ál. 2006). Sin embargo en ambos materiales, no hay diferencia estadística en el rendimiento comercial entre los tratamientos 1 y 2, lo que podría sugerir que bajo estas condiciones de siembra, es válido reducir el consumo de agua hasta en un 15% en este cultivo sin llegar a afectar marcadamente la producción. Esto significaría un ahorro de agua que no deja de ser un valioso recurso cada vez más limitado. Pese a esto no puede dejarse de lado que el estrés hídrico, si se resta solo el 15% de humedad a la capacidad de campo, afecta la calidad de la cosecha (Jovicich et ál. 2007), por lo que fruta de primera calidad pasaría a categoría segunda o incluso rechazo y esto sí podría traer alguna repercusión económica importante. Esto se vio más claramente en el híbrido Villaplants Americano, por lo que deberá sopesarse muy bien si es rentable reducir en un porcentaje no mayor a 15% el suministro de agua para la planta.

Otro aspecto destacable es que al comparar el rendimiento en $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ de los 2 híbridos, estuvieron relativamente similares, aunque favoreciéndose el híbrido Villaplants Americano. Esto podría verse como que la prolificidad del material FBM-9 compensa el significativo menor peso de la fruta, o bien que el material Villaplants Americano, pese a tener menor cantidad de frutos, alcanza un rendimiento importante dado el peso de los frutos, lo que se da básicamente por la relación fuente-sumidero donde los frutos son el sumidero principal y la forma como se distribuyen los fotoasimilados (Peil y Galvez 2005).

El rendimiento en general de ambos híbridos fue bueno, pero sembrado bajo condiciones de invernadero siempre se esperan rendimientos aún más altos que compensen la inversión que implica la infraestructura. Esto en el invernadero

de la EEAFB es muy difícil de lograr por las condiciones de clima al interior del invernadero y el poco acondicionamiento de esta infraestructura para amortiguar el calor. La alta radiación típica en la zona, con un valor promedio cercano a $800 \mu\text{M}/\text{m}^2\text{s}$ y temperaturas máximas de 33 a 35°C , con picos de hasta 37°C en el interior del invernadero, afectaron la producción. Tesi 2000 informa que la temperatura óptima para una buena fructificación en el chile se logra dentro de los ámbitos de 22 a 28°C durante el día y 16 a 18°C durante la noche. A medida que las temperaturas se alejan de estos valores ideales, el rendimiento disminuye (Peil y Galvez 2005).

En solanáceas es más crítico y principalmente en tomate, a temperaturas por encima de 35°C ya que la superficie tanto del grano de polen como del estigma puede secarse, lo que ocasiona una pobre fructificación al limitarse la liberación del polen y el crecimiento del tubo polínico. La germinación del polen aumenta con la temperatura pero hasta cierto límite, pues a más de 37°C la germinación se inhibe grandemente. Temperaturas de exposición superiores a 40°C afectan no sólo la producción de polen sino también la de los óvulos (Nicola et ál. 2009). En este contexto, se aplica el concepto del factor limitante, donde la temperatura es la condición que particularmente impone la restricción a un incremento en el rendimiento.

Ligado al aumento de la temperatura en un invernadero está la reducción de la humedad relativa. Idealmente el invernadero debería mantenerse a una humedad relativa del 60 a 70% (Snyder 2006) o al menos cercana al 50%. Sin embargo en el invernadero de la EEAFB la humedad relativa permanecía cerca del 40%, especialmente los últimos 3 meses de producción. Esto favoreció el desecamiento de la hoja, el aborto de flores y consecuentemente se afectó la producción.

CONCLUSIONES

No se encontró un efecto claro de los distintos niveles de agotamiento sobre el desarrollo vegetativo de los híbridos de chile dulce FBM-9 y

Villaplants Americano, aunque sí se notó que las plantas sometidas al tratamiento de mayor estrés hídrico entraron más rápido en las fases de floración y fructificación. En los 2 híbridos conforme se incrementó el agotamiento de la humedad en el sustrato, disminuyó la cantidad de frutas de primera y segunda categoría mientras que se incrementó la cantidad de frutas de rechazo.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue posible gracias al financiamiento de la Universidad de Florida (IFAS – Gulf Coast and Research & Education Center) en asocio con la Universidad de Costa Rica.

LITERATURA CITADA

- ALLEN R., PEREIRA L., RAES D., SMITH M. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO: Irrigation and drainage N° 56. Italia, sp.
- ANDRIOLO J.L. 1999. Fisiología das culturas protegidas. Editora UFSM, Brasil. 142 p.
- CALVO L.R. 2005. Métodos de riego: un enfoque práctico para el diseño. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo, Costa Rica. 168 p.
- CHARTZOULAKIS K., DROSOS N. 1997. Water requirements of greenhouse grown pepper under drip irrigation. *Acta Horticulturae* 449(1):175-180.
- GLIESSMANN S.R. 2002. Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible. CATIE, Costa Rica. 359 p.
- JOVICICHE., CANTLIFFE D.J., STOFELLA P.J., HAMAN D.Z. 2007. Bell pepper fruit yield and quality as influenced by solar radiation-based irrigation and container media in a passively ventilated greenhouse. *Hort Science* 42(3):642-652.
- METIN SEZEN S., YAZAR A., EKER S. 2006. Effect of drip irrigation regimes on yield and quality of field grown bell pepper. *Agriculture Water Management* 81:115-131.
- NAPIER D.R., COMBRINK N.J. 2006. Aspects of calcium nutrition to limit plant physiological disorders. *Acta Horticulturae* 702:107-116.
- NICOLA S., TIBALDI G., FONTANA E. 2009. Tomato production systems and their application to the tropics. *Acta Horticulturae* 821:27-33.
- OJEDA W. 2004. Programación del riego bajo condiciones de invernadero. III Curso Internacional de Invernaderos. Tomo II. Universidad Autónoma de Chapingo, México. 71 p.
- PEET M.M., WILLITS D.H. 1995. Role of excess water in tomato fruit cracking. *HortScience* 30(1):65-68.
- PEIL R.M., GALVEZ J.L. 2005. Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *R. Bras. Agrociência* 11(1):5-11.
- SNYDER R.G. 2006. Guía del cultivo del tomate en invernaderos. Servicio de Extensión Universidad Estatal de Mississippi, USA. Publicación N° 2419. 24 p.
- TAKANE R.J., YANAGISAWA S.S., De ASSIS E. 2013. Técnicas em substratos para a floricultura. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, Brasil. 147 p.
- TAYLOR M.D., LOCASCIO S.J., ALLIGOOD M.R. 2004. Blossom-end rot incidence of tomato as affected by irrigation quantity, calcium source, and reduced potassium. *HortScience* 39(5):1110-1115.
- TESI R. 2000. Medios de protección para la hortoflorofruticultura y el viverismo. Ediciones Mundi Prensa, España. 289 p.
- VILLALOBOS E. 2001. Fisiología de la producción de los cultivos tropicales. Fascículo I. Editorial Universidad de Costa Rica, Costa Rica. 228 p.
- WALLER P. 2004. Microirrigación en invernaderos y sistemas de fertirrigación. III Curso Internacional de Invernaderos. Tomo II. Universidad Autónoma de Chapingo, México. 17 p.



Todos los derechos reservados. Universidad de Costa Rica. Este artículo se encuentra licenciado con Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Costa Rica. Para mayor información escribir a rac.cia@ucr.ac.cr