

Fechas de trasplante y productividad del chile habanero con riego por goteo

Rutilo López-López^{1§}

Marco Antonio Inzunza-Ibarra²

Andrés Fierro-Álvarez³

David Jesús Palma-López⁴

¹Campo Experimental Huimanguillo-INIFAP. Carretera Huimanguillo-Cárdenas km 1, Huimanguillo, Tabasco, México. Tel. 01(800) 0882222, ext. 87515. ²Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua Suelo Planta Atmósfera-INIFAP. Canal Sacramento km 6.5, margen derecha. Gómez Palacio, Durango., México. CP. 35140, (inzunza.marco@inifap.gob.mx). ³Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Xochimilco. Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, Delegación Coyoacán, D. F., México, CP. 04960. Tel. 01(55) 54837000. (afierro@correo.xoc.uam.mx). ⁴Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina S/N, H. Cárdenas, Tabasco, México. CP. 86500. Tel. 01(937) 3722364. (palmadave@gmail.com).

§Autor para correspondencia: lopez.rutilo@inifap.gob.mx.

Resumen

Se cuantificó el efecto de la fecha de trasplante en la producción del chile habanero y el uso eficiente del agua de riego (UEA) y se determinó la rentabilidad de la producción en condiciones de riego por goteo y cubierta plástica. El trabajo se desarrolló en Huimanguillo, Tabasco en un suelo Fluvisol éutrico. Se utilizó la variedad Orange en cinco fechas de trasplante: 1) 17 de septiembre de 2014, 2) 30 de septiembre de 2014, 3) 23 de diciembre de 2014, 4) 10 de enero de 2015 y 5) 12 de febrero de 2015. Se establecieron cuatro parcelas de validación en el ciclo PV-2016. El trasplante se realizó a los 45 días después de la emergencia de las plántulas en charolas, con una densidad de 13 400 plantas ha⁻¹. El riego se aplicó con base en la evapotranspiración del cultivo ($ET_c = ET_0 K_c$) donde la evapotranspiración de referencia (ET_0) se estimó con el tanque evaporímetro tipo "A". Se utilizaron los siguientes coeficientes de cultivo (K_c): 0.4, 0.8 y 0.7 en la etapa inicial, intermedia y final de desarrollo del cultivo, respectivamente. Se concluye que las fechas de trasplante del 17 de septiembre al 12 de febrero tienen un efecto similar en el rendimiento de frutos a excepción de la fecha 10 de enero, afectada por *Phytophthora capsici*. En cuanto a la UEA, la fecha de trasplante 30 de septiembre incrementó 16.5% con respecto al 12 de febrero y 33.7% con respecto al 10 de enero. La rentabilidad del cultivo fue mayor en las fechas de diciembre y febrero obteniéndose una relación beneficio costo de 3.1 y 3.5, respectivamente.

Palabras clave: *Capsicum chinense*, *Phytophthora capsici*, lámina de riego, uso eficiente del agua.

Recibido: diciembre de 2017

Aceptado: enero de 2018

Introducción

La producción agrícola exige la mejora continua de las prácticas de riego y cambios fundamentales en la aplicación de métodos de ahorro de agua de riego. El riego por goteo en los cultivos hortícolas es el método más sencillo y eficiente de suministrar el agua y los fertilizantes en la zona radical de las plantas.

El chile habanero en el sureste de México se cultiva en condiciones de temporal, de humedad residual y con riego por goteo. Entre los principales problemas que se presentan en el cultivo de chile habanero, están los daños ocasionados por la mosca blanca (*Bemisia tabaci*) y el ácaro blanco (*Polyphagotarsonemus latus*), los cuales reducen significativamente el rendimiento del cultivo. La fecha de trasplante afecta el crecimiento y desarrollo de los cultivos de chile verde (Hamma *et al.*, 2012), en la infestación y control de plagas y enfermedades (Sujay y Giraddi, 2014) y en la comercialización de los productos para el mercado regional y nacional y como consecuencia en la producción del cultivo y en el uso eficiente del agua de riego. Hamma *et al.* (2012) encontraron diferencias significativas en fechas de trasplante de agosto a octubre en el rendimiento de fruto de chile dulce en dos años continuos de evaluación.

El uso eficiente del agua (UEA) se expresa como el rendimiento de fruto verde por unidad de volumen o por unidad de evapotranspiración (UEA_{ET}). El UEA en los cultivos agrícolas se basa generalmente en la lámina de agua aplicada, por lo tanto, se puede expresar en kg m⁻³.

La mayoría de los estudios realizados sobre el efecto del riego en el rendimiento de chile verde y en el uso eficiente del agua de riego se limitan a las zonas climáticas subhúmedas o áridas. Varios investigadores han demostrado que en condiciones de estrés hídrico o con tratamientos de déficit hídrico se disminuye el rendimiento de chile verde y el UEA (González-Dugo *et al.*, 2007; Sezen *et al.*, 2014; Cosic *et al.*, 2015), en comparación con tratamientos sin estrés hídrico. No obstante, Ashrafuzzaman *et al.* (2011) demostraron que con cubierta plástica y déficit hídrico se obtuvo el mayor UEA (3.5 kg m⁻³) y fue significativamente mejor que en el suelo desnudo y el tratamiento con riego basado en la evapotranspiración del cultivo (3.1 kg m⁻³) y el tratamiento con estrés hídrico (2.3 kg m⁻³).

Sezen *et al.* (2006) estudiaron el efecto de la lámina y frecuencia de riego en el UEA y en el rendimiento de chile (*C. annuum* L.). El rendimiento máximo fue de 33.14 a 35.3 t ha⁻¹ con un coeficiente de cultivo (Kc)= 1. Los resultados indicaron que los valores de UEA disminuyeron con el aumento de los intervalos de riego, sin embargo, valores de Kc más bajos disminuyeron el rendimiento total y se obtuvieron frutos de menor calidad. Los autores antes citados sugieren que en la etapa inicial, los valores de Kc sean menores que 1 con el fin de ahorrar agua. Yildirim *et al.* (2012) concluyeron que el cultivo de chile pimienta se debe regar a intervalos de 7 días desde la siembra hasta 40-50 días después del trasplante. A partir de esta fecha, se debe reducir a 4 días, ya que durante los períodos de floración y formación de frutos del chile son más sensibles al déficit o estrés hídrico.

Nagaz *et al.* (2012) encontraron valores más bajos de productividad del agua en el cultivo de chile (*Capsicum annuum* L.), entre 2.31 y 5.49 kg m⁻³, los cuales variaron en función de láminas de riego aplicadas con diferentes déficit de riego equivalentes de 394 a 750 mm. Karam *et al.*

(2009) concluyeron que mediante el riego por goteo con 80% de la ETc se obtuvieron mayores rendimientos de fruto (31.9 t ha^{-1}) en el cultivo de chile (*C. annum* L.) y mayor optimización del UEA a partir de una lámina de riego de 427 mm en un clima seco.

Se ha demostrado que el riego por goteo aumenta el UEA, proporcionando las condiciones adecuadas para el desarrollo óptimo de la planta y una mayor productividad. Sin embargo, más allá del control efectivo del volumen aplicado en el riego, es fundamental la adopción de mecanismos que promuevan una mayor eficiencia en el uso del agua como la capacidad de retención del agua en el suelo, el aumento de la infiltración y la reducción de la evaporación y el escurrimiento superficial. La reducción de la pérdida de agua por evaporación puede ser logrado mediante la implementación de cubiertas plásticas, o con material orgánico de origen vegetal (Coelho *et al.*, 2013). Paul *et al.* (2013) encontraron que el sistema de riego por goteo y sin cubierta plástica aumenta el rendimiento de chiles (*C. annum* L.) 28% con respecto del riego superficial. Sin embargo, los mismos autores concluyen que solo la cubierta plástica aumenta el rendimiento en 13% en ausencia del riego por goteo.

El sistema de acolchado plástico es una alternativa viable para aumentar la producción de chile habanero en condiciones tropicales, López-López *et al.* (2015), concluyeron que la combinación de cubierta plástica y riego por goteo demostraron su eficacia tanto en términos de UEA y la rentabilidad. La aplicación de láminas de riego basada en la evapotranspiración del cultivo y la aplicación de cubierta plástica junto con la fecha de trasplante del 30 de enero se aumentó el rendimiento de fruto de chile habanero 25.2% y la productividad del agua 29.7% en comparación al tratamiento sin acolchado plástico y por 57.5% en comparación con la fecha de trasplante 15 de febrero.

El riego y la fecha de siembra en el cultivo de chile habanero son importantes, a pesar de presentarse altas precipitaciones durante seis a ocho meses del año, en el sureste de México se requiere del riego suplementario para satisfacer las necesidades de evapotranspiración del cultivo, principalmente en los meses de febrero, marzo, abril y mayo donde la lluvia es insuficiente para mantener el balance hídrico. Los objetivos del presente estudio fueron: i) cuantificar el efecto de las fechas de trasplante en el rendimiento de chile habanero, el uso eficiente del agua con riego por goteo y la cubierta plástica; ii) determinar la rentabilidad y viabilidad económica del producto en el mercado regional del sureste de México.

Materiales y métodos

Área de estudio

El experimento se realizó en la localidad de Villa Flores 2^{da}. sección, municipio de Huimanguillo, Tabasco, durante el ciclo otoño-invierno 2014- 2015 y primavera-verano 2015, situado geográficamente a $17^{\circ} 51' 04''$ latitud norte y $93^{\circ} 23' 47''$ longitud oeste y una altitud de 30 m. La validación se realizó de febrero a julio de 2016 en cuatro localidades pertenecientes al municipio de Huimanguillo, Tabasco: Ejidos Ostitán, El Porvenir, Paredón 2^{da}. sección y Francisco J. Santa María, situado geográficamente entre $17^{\circ} 36.23'$ a $17^{\circ} 45.37'$ latitud norte y $93^{\circ} 27.15$ a $93^{\circ} 31.22'$

longitud oeste y una altitud entre 45 y 60 m. El clima de la región es cálido húmedo, la precipitación media anual es de 2 200 mm y presenta dos períodos máximos de lluvia con un intervalo de disminución en julio y agosto.

Características físicas y químicas del suelo

El suelo en el que se condujo el experimento se clasifica como Fluvisol éutrico de textura franca arcillosa, pH ligeramente ácido de 6.4, contenido bajo de materia orgánica (1.2%), medio en amonio ($10.6 \text{ cmol kg}^{-1}$), medio en fósforo (15.2 mg kg^{-1}) y deficientes en potasio (0.5 mg kg^{-1}), alto en calcio intercambiable (16 mg kg^{-1}) pero baja capacidad de intercambio catiónico. Con base en la textura del suelo, a la profundidad de 0 a 20 cm, la densidad aparente (Da), capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) son de 1.35 g cm^{-3} , 36 y 18%, respectivamente. En la etapa de validación, las características físicas y químicas de los suelos que fueron utilizados se presentan en el Cuadro 1. Los suelos donde se establecieron las parcelas de validación son textura franca a arcillosa, con pH ácido (ejido Fco. J. Santa María) hasta ligeramente alcalino (ejido Paredón 2^{da}. Sección) de medio a alto en contenido de materia orgánica, bajos en fósforo disponible, altos en contenido de calcio, potasio y magnesio, excepto el ejido Fco. J. Santa María.

Cuadro 1. Propiedades físico químico de los suelos de cuatro localidades de Huimanguillo, Tabasco usados para la validación de la producción de chile habanero con riego por goteo ciclo primavera-verano, 2016.

Parámetros	Unidades	Ej. El Porvenir 1 ^{ra} . Sección	Ej. Paredón 2 ^{da} . Sección	Ej. Fco. J. Santa María	Ej. Ostitán
Granulometría	--	Arcillosa	Franca	Franco-arenosa	Franca
Arcilla	(%)	45	15	9	24
Limo	(%)	10	45	23	47
Arena	(%)	45	40	68	29
Conductividad eléctrica	$\mu\text{S cm}^{-1}$ a 25 °C	< 70	116	71.7	< 70
pH	Extracto 1/2.5	6.72	7.42	4.89	6.12
Materia orgánica	(%)	4.82	2.34	8.16	2.5
Nitrógeno Dumas	mg kg^{-1}	2.98	1.54	3.23	1.62
Caliza activa	(%) CaCO_3	< 0.5	0.8	< 0.5	< 0.5
Fósforo disponible Olsen	mg kg^{-1}	5.46	< 1.37	4.21	12.9
Calcio disponible	$\text{meq } 100 \text{ g}^{-1}$	22.9	15	0.32	14.6
Magnesio disponible	$\text{meq } 100 \text{ g}^{-1}$	6.01	2.97	0.32	4.52
Potasio disponible	$\text{meq } 100 \text{ g}^{-1}$	0.42	0.27	0.15	0.38
Sodio disponible	$\text{meq } 100 \text{ g}^{-1}$	0.41	0.3	0.36	0.28
Hierro (DTPA)	mg kg^{-1}	87.3	52.4	54.3	151
Manganeso (DPTA)	mg kg^{-1}	16.8	14.4	3.52	28.2
Cobre (DPTA)	mg kg^{-1}	2.8	4.15	0.75	5.13
Zinc (DPTA)	mg kg^{-1}	1.4	0.89	< 0.4	1.49
Relación C/N		9.37	8.81	14.6	8.96

Producción de plántulas en charolas y densidad de plantación

La variedad utilizada fue Orange (Geneseeds Company). Las siembras se realizaron de julio a diciembre de 2014 en charolas de 200 cavidades. El sustrato usado para germinación fue peat moss más vermiculita (1:1). Una vez germinadas las semillas al sexto día, las plántulas fueron expuestas a la radiación solar en el vivero para evitar la elongación del tallo. Las plántulas se regaron con una solución nutritiva basada en 13-40-13 (acafos violeta) diluida al 50% y aplicada por aspersión y el fosfato mono amónico (12-61-00) por sumersión de las charolas antes del trasplante.

Preparación del terreno, instalación de la cinta de riego y cubierta plástica

La preparación del terreno consistió en un barbecho con tres pasos de rastra. Las camas de siembra se realizaron con un bordeado de dos discos para la instalación de la cinta de riego y la cubierta plástica en forma manual. Una vez construidas las camas de siembra y colocada la cinta de riego, se instaló manualmente la cubierta plástica de color plateado y negro con un ancho de 1.2 m, para una cama de 0.6 m, calibre de 2.3 mm, con perforación parcial diámetro de 6 cm y a 50 cm entre espaciamento.

Trasplante

El trasplante se realizó a los 45 días después de la emergencia en las charolas, las características de las plántulas al momento del trasplante fueron de 0.1 m de altura, 2 mm de diámetro del tallo y de seis a ocho hojas verdaderas totalmente expandidas. El arreglo de la plantación en campo fue de 1.5 m entre hileras y 0.5 m entre plantas, para una densidad de población de 13 400 plantas por hectárea.

Riego por goteo

Las láminas de riego se aplicaron en función de la evapotranspiración del cultivo (ET_c), donde la evapotranspiración de referencia (ET_0) se obtuvo por el método de tanque evaporímetro tipo "A" a partir de la ecuación 1.

$$ET_0 = E_v K_t \quad 1)$$

Donde: E_v es la evaporación diaria obtenida en tanque de una estación meteorológica ubicada en el Campo Experimental Huimanguillo, K_t es el coeficiente de tanque asumido igual a 0.8 (Doorenbos y Kasam 1986; Allen *et al.*, 2006). Los coeficientes de cultivos (K_c) usados para el chile habanero con cubierta plástica fueron: 0.4, 0.8 y 0.7 en la etapa inicial, intermedia y final, respectivamente. Con el K_c se estimó la evapotranspiración del cultivo (ET_c) de acuerdo con la ecuación 2.

$$ET_c = ET_0 K_c \quad 2)$$

La eficiencia de uniformidad (EU) del riego por goteo obtenida mediante la evaluación hidráulica por el método de Christiansen, variaron entre 81 a 88%. Las características nominales son:

diámetro interno de 16 mm, calibre 6 mil (0.15 mm), flujo de 1.02 L h⁻¹, espacio entre emisores de 0.2 m, y presión de 8 PSI (55.2 kPa).

Fertirrigación

La fertilización base consistió en la aplicación de 100 kg de fosfato diamónico (DAP) equivalente a 18 kg de nitrógeno y 46 kg de fósforo antes del trasplante. La fórmula de fertilización aplicada en el fertirriego fue de 200-150-180, distribuida de acuerdo con la etapa fenológica del cultivo (inicial, intermedia y final). Las fuentes de fertilizantes solubles fueron: 8-24-00 líquido, de nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente, fosfato monoamónico (12-61-00), nitrato de potasio (13-00-46), nitrato de calcio (13-00-00-17), y ácido fosfórico a 20%. La frecuencia de aplicación del fertirriego fue de dos veces por semana mediante un inyector Venturi.

Control de plagas y enfermedades

El control de plagas y enfermedades se realizó mediante cultivos trampa de maíz (*Zea mays* L.) sembrado en los bordes laterales del terreno y aplicaciones de insecticidas basados en cipermetrina y metamidofos en dosis de 0.5 y un L ha⁻¹, respectivamente. El acaro blanco (*P. latus*) se combatió con spiroadiclofen (envidor[®] 240 SC) y abamectina (hortimec 1.8 y agriver 1.8% CE) en dosis de 18 g de ia. L⁻¹ de agua (0.5 L ha⁻¹). La mosca blanca (*B. tabaci*) fue combatida mediante la rotación de insecticidas basados en imidacloprid (confidor) en dosis de 0.5 L ha⁻¹, dinotefuran (venom 20 SG) a razón de 0.5 kg ha⁻¹; pyriprosyfen (knack, 103 g L⁻¹), a razón de 250 mL ha⁻¹, spiromesifen (oberon[®] 240 SC) y spirotetramat (movento[®] 150 g de ia.) a razón de 0.5 L ha⁻¹. Se aplicaron productos orgánicos basados en argemónina, berberina y ricinina como el biodie y extractos de neem (nimicide 80) en dosis de un L ha⁻¹, cada 15 días durante el periodo de cosecha.

La prevención de enfermedades se realizó con mezclas de carbendazim a razón de 1 cc más 2 cc de Propamocarb clorhidrato por litro de agua. Para la prevención de enfermedades fungosas y bacterianas, se usaron el Oxidocloruro de cobre más terramicinas (oxitetraciclinas). Todos los productos químicos fueron aplicados por aspersión con bomba de mochila en las dosis recomendadas por los fabricantes. Para la marchitez de la planta causada por *Phytophthora capsici* Leonian se aplicó metalaxil más clorotalonil (Ridomil Gold[®] Bravo SC) en dosis de un L ha⁻¹ (40 + 400 g de ia. L⁻¹).

Cosecha

Los cortes se hicieron cuando los frutos presentaron los índices de cosecha característicos del cultivo: coloración verde intenso y textura dura. El número de cortes fueron de siete a 15, los cuales dependieron de las fechas de trasplante.

Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos aplicados fueron cinco fechas de trasplante: 17 y 30 de septiembre y 23 de diciembre de 2014, 10 de enero y 12 de febrero de 2015. Los tratamientos fueron analizados en un diseño completamente al azar, donde se obtuvieron cinco sub muestras tomadas al azar en el sitio experimental por fecha de siembra, la cual consistió en tres hileras de cinco m de longitud (15 m²),

donde se registró el rendimiento de fruto verde por corte y el total. El área experimental por fecha de trasplante fue sembrada en una superficie promedio de 4 500 m² para completar una superficie de 22 500 m².

Variables medidas

Los datos de precipitación, evaporación y temperaturas se obtuvieron de la estación climatológica del Campo Experimental Huimanguillo. El rendimiento de fruto verde se obtuvo de los cortes realizados durante el ciclo del cultivo; se obtuvieron los gastos directos más gastos de inversión e ingresos netos con base en el precio promedio de venta del producto en la época de cosecha. El uso eficiente del agua de riego (UEA) se definió como el rendimiento de fruto verde (Rf) obtenido por unidad de volumen de agua de riego (Vt) aplicado en kg m⁻³ aplicada desde el trasplante hasta el último corte o cosecha, no se incluye la precipitación ocurrida durante el ciclo del cultivo.

$$UEA = \frac{Rf}{Vt} \quad 3)$$

Las sondas “watermark” para medir el potencial matricial, cuyo rango de medida es de 0 a -200 kPa, fueron instaladas a las profundidades de 0.1 y 0.3 m en cada tratamiento.

Análisis estadístico y económico

Se hicieron análisis de varianza para el rendimiento de fruto verde y uso eficiente del agua de riego mediante el programa Statistical Analysis Systems (SAS, 2009). La comparación de medias de los tratamientos se realizó con la prueba de Duncan ($\alpha=0.05$). El análisis económico se realizó por el método de análisis de ingreso para cultivos anuales (Gittinger, 1985) proyectado a 10 años considerando una tasa de interés anual de 3.2%.

Etapas de validación

El trabajo de validación se desarrolló en cuatro localidades del municipio de Huimanguillo, Tabasco: 1) Ejido Ostitán; 2) Ejido El Porvenir; 3) Ejido Paredón 2^{da}. sección; y 4) Ejido Francisco J. Santa María, los suelos se clasifican como Fluvisol éutrico. Se utilizó la variedad Orange en fechas de trasplante del 15 al 26 de febrero de 2016, en una superficie de 0.5 hectárea para cada localidad. La tecnología de producción (variedad, cubierta plástica, láminas de riego, fertirrigación y control de malezas, plagas y enfermedades) fue similar a la usada en el experimento.

Resultados y discusión

Efecto de fecha de trasplante en el rendimiento de frutos y en uso eficiente del agua de riego

En el Cuadro 2 se presenta la lámina de riego (mm), la precipitación en mm, la duración del cultivo en días después del trasplante y el número de cortes realizados por fecha de trasplante. Se observa (Cuadro 2) que existen diferencias de estas variables por el efecto de la fecha de

trasplante, donde las fechas del mes de septiembre presentan una duración del cultivo de 207 a 220 días y por consiguiente se aumentó el número de cortes (15). La precipitación durante el ciclo del cultivo fue mayor (entre 1 456.2 a 1 557 mm) pero debido a la mayor duración del cultivo, las láminas de riego aumentaron de 240 a 252 mm. En cambio, las fechas de trasplante del mes de diciembre a febrero, la duración del cultivo fue mucho menor (135 a 185 días) con precipitaciones entre 425.9 hasta 835.6 mm obteniéndose de 7 a 12 cortes con láminas de riego aplicadas de 228 a 313 mm.

Cuadro 2. Lámina de riego, precipitación, duración del cultivo y número de cortes por fecha de trasplante.

Tratamiento	Lámina de riego (mm)	Precipitación (mm)	Duración del cultivo (ddt)	Número de cortes
17 de septiembre/14	252	1557	220	15
30 de septiembre/14	240	1456.2	207	15
23 de diciembre/14	313	835.6	185	12
10 de enero/15	228	425.9	135	7
12 de febrero/15	277.5	561.9	149	11

ddt= días después del trasplante.

Estas láminas de riego tienden a aumentarse debido a que en estas fechas de trasplante, el ciclo del cultivo coincide con los meses más secos del año (febrero a mayo) y el incremento de las temperaturas aumenta la población de *B. tabaci*, el cual reduce el rendimiento y la calidad del fruto de chile habanero (López *et al.*, 2015). Cabe señalar, que durante la etapa de floración y desarrollo de frutos para las fechas de trasplante del mes de diciembre a febrero ocurrió un evento extraordinario (27 de abril de 2015) con temperaturas de 40 °C y evaporación de 10.9 mm (Figura 1), y además ráfagas de viento de 40.7 km h⁻¹ (CONAGUA, 2015). Esto ocasionó caída de flores y frutos pequeños en el cultivo, originando reducción de los rendimientos de frutos en tres cortes intermedios.

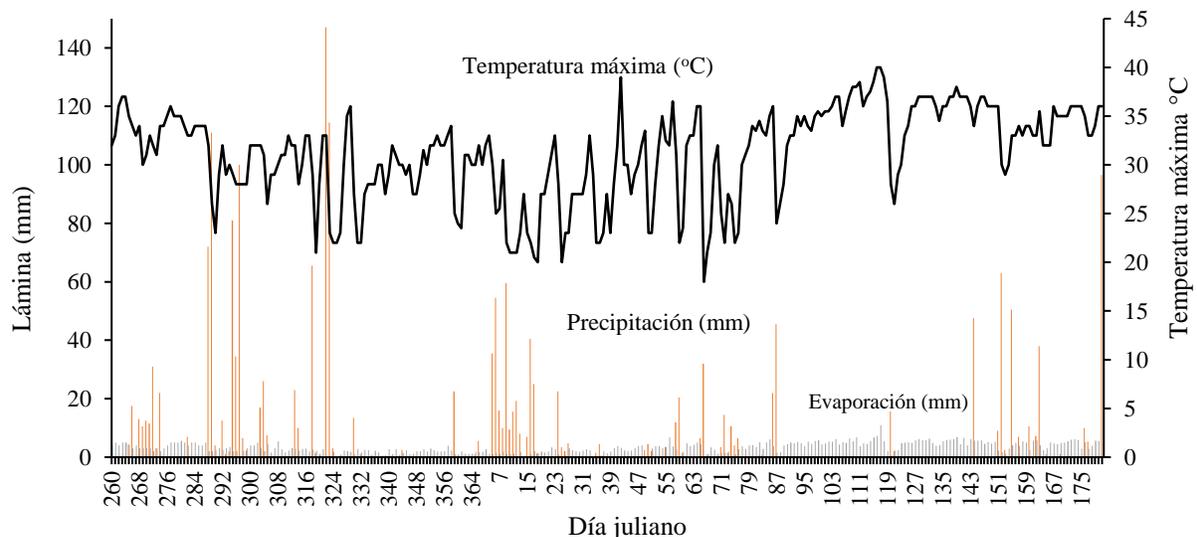


Figura 1. Precipitación (mm), evaporación (mm) y temperatura máxima (°C) registrada durante el ciclo del cultivo de chile habanero en diferentes fechas de trasplante.

Las láminas de riego aplicadas variaron entre 1.5 a 6 mm por día, basadas en el cálculo de la evapotranspiración del cultivo y los coeficientes de cultivo con cubierta plástica, utilizados en el estudio, aumentaron el uso eficiente del agua de riego en las fechas de trasplante del mes de septiembre y como consecuencia hubo un ahorro de agua de aproximadamente 18% comparado con los coeficientes de cultivos que proponen Allen *et al.* (2006) para el cultivo de chile verde: 0.6 en la etapa inicial, 1.15 en la intermedia y 0.8 en la etapa final.

Los análisis de varianzas mostraron que las fechas de trasplante tuvieron un efecto significativo en el rendimiento de frutos y en el uso eficiente del agua ($p \leq 0.05$). La prueba de comparación de medias por Duncan ($\alpha = 0.05$) indican que los rendimientos de frutos y el UEA, mostró los más altos valores en las fechas de trasplante del 17 de septiembre (19.1 t ha^{-1} y 7.6 kg m^{-3}) y 30 de septiembre (19.5 t ha^{-1} y 8.1 kg m^{-3}), del 23 de diciembre (18.9 t ha^{-1} y 6 t ha^{-1}) y del 12 de febrero (18.8 t ha^{-1} y 6.8 kg m^{-3}), las cuales fueron estadísticamente iguales entre si y significativamente superiores a la fecha del 10 de enero de 2015 con rendimiento de 12.3 t ha^{-1} y UEA de 5.4 kg m^{-3} (Cuadro 3).

Cuadro 3. Rendimiento acumulado de frutos y eficiencia en el uso del agua de riego para las fechas de trasplante utilizadas en chile habanero con riego por goteo y cubierta plástica.

Fecha de trasplante	Rendimiento de frutos (kg ha^{-1})	Uso eficiente del agua de riego (kg m^{-3})
17 de septiembre/14	19 160 a	7.603 ab ^z
30 de septiembre/14	19 527.5 a	8.136 a
23 de diciembre/14	18 863 ab	6.026 ab
10 de enero/15	12 292 b	5.391 b
12 de febrero/15	18 857 a b	6.795 ab
Media	17 855.3	6.828
Desviación estándar	4 404.7	1.654

^z= Valores con la misma letra dentro de columna son iguales según Duncan ($p \leq 0.05$).

El bajo rendimiento del cultivo y UEA en la fecha del 10 de enero fue debido a que el cultivo fue dañado por la marchites de la planta causado por el hongo *Phytophthora capsici* Leonian, reduciéndose la duración del cultivo en 135 días y obteniéndose solo siete cortes. Sezen *et al.* (2014) reportaron que esta enfermedad afecta la producción de chiles verdes y encontraron que *Fusarium* spp. tiene una relación con el estrés hídrico en chiles rojos, en tratamientos con mayor estrés hídrico es mayor la incidencia de estas enfermedades fungosas. Al respecto, López-López *et al.* (2015) reportaron que en fechas de trasplante del 30 de enero y 15 de febrero, en condiciones de riego por goteo y cubierta plástica, los rendimientos y el UEA fueron similares.

Con base en los rendimientos de fruto verde obtenidos en los cinco tratamientos y el volumen de agua de riego aplicado por unidad de superficie, los valores más altos del uso eficiente del agua fueron de 7.6 kg m^{-3} para la fecha de 17 de septiembre de 2014 y 8.1 kg m^{-3} para la fecha del 30 de septiembre de 2014. El uso eficiente del agua de riego para la fecha de trasplante del 10 de enero, 2015 obtuvo el valor más bajo de 5.39 kg m^{-3} ; no obstante, fue estadísticamente igual a las fechas del 17 de septiembre, 23 de diciembre, 2014 y 12 de febrero, 2015. Sezen *et al.* (2006) encontraron en *C. annuum* valores máximos de UEA de riego de 7.7 kg m^{-3} con 50% de la ET_0 y

mínimo de 4.8 kg m^{-3} con 100% de la ET_0 . De aquí la importancia de aplicar las láminas de riego basadas en la evapotranspiración del cultivo para maximizar el rendimiento y aumentar la calidad del chile.

En la Figura 2 se presenta el efecto del riego y la precipitación en el potencial mátrico a la profundidad de 0.15 y 0.3 m del suelo para la fecha de trasplante del 12 de febrero, en la capa de 0.15 m, la tensión de humedad varió de 0 a -50 kPa durante el ciclo del cultivo, mientras que en la capa de 0.3 m, la tensión de humedad varió entre 0 a -45 kPa. Los valores de tensión de humedad del suelo indican que las láminas de riego aplicadas al cultivo y la precipitación ocurrida, cubrieron las necesidades hídricas del cultivo, sin presentarse síntomas de estrés hídrico, aunque existen valores menores que capacidad de campo ($< -33 \text{ kPa}$), estos no ocasionaron que las plantas realizaran un mayor esfuerzo para absorber el agua a través de sus raíces.

El potencial matricial del suelo en las demás fechas de trasplante fue muy similar al que se presenta en la Figura 2, por lo tanto, se confirma que los sensores de humedad watermark proporcionan datos precisos en suelos relativamente húmedos en condiciones dinámicas de frecuentes ciclos de humedecimiento y secado y en condiciones de suelos secos ($< -30 \text{ kPa}$). Las medidas del potencial mátrico en los primeros 0.3 m de profundidad constituyen un buen indicador de la disponibilidad de agua en el suelo, y una herramienta útil para el monitoreo del riego en el cultivo de chile habanero.

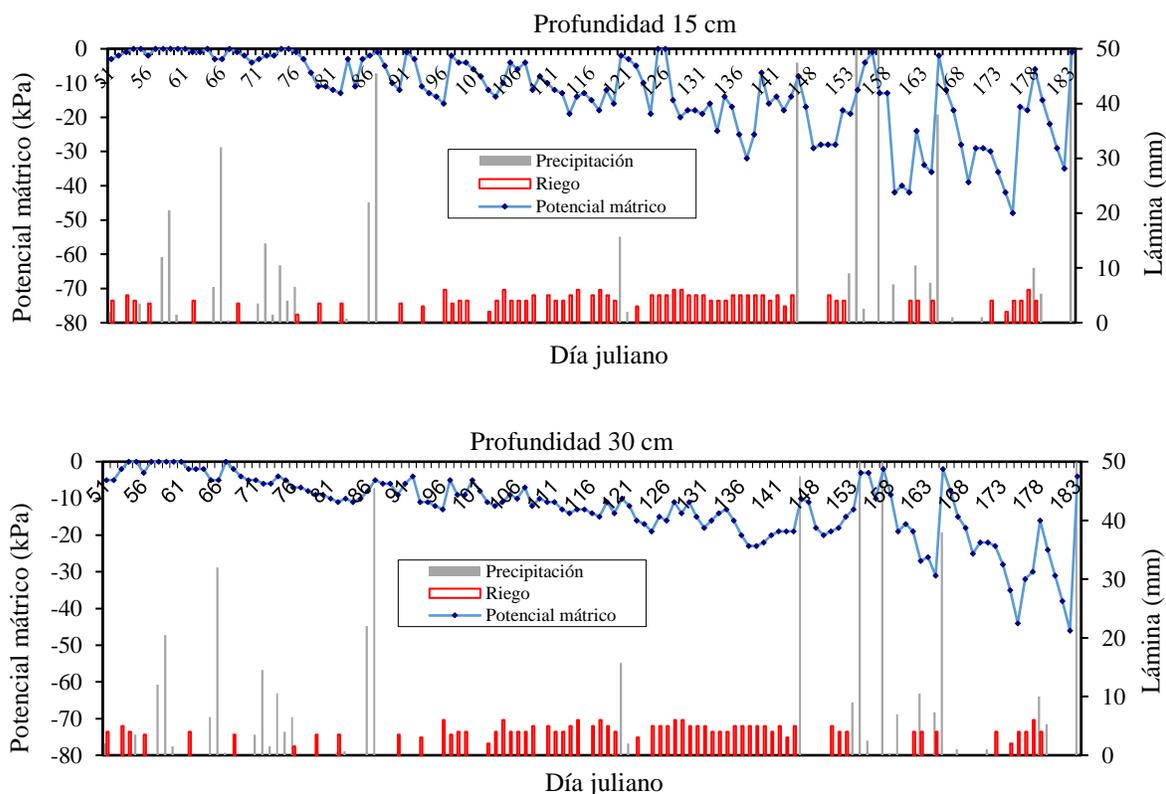


Figura 2. Efecto de la lámina de riego y la precipitación en el potencial mátrico del suelo para la fecha de trasplante del 12 de febrero (día juliano= 43) a la profundidad de 0.15 y 0.3 m en chile habanero con riego por goteo y cubierta plástica.

Análisis económico

El análisis de rentabilidad del sistema de producción de chile habanero con riego por goteo y cubierta plástica, basada en diferentes fechas de trasplante se presenta en el Cuadro 3. Los gastos directos del cultivo fueron de \$82 950.00 por hectárea, más gastos de inversión de \$35 000.00. Los gastos directos del cultivo corresponden a las prácticas realizadas desde la preparación del terreno, producción de plántulas en charolas, fertirrigación, control de plagas y enfermedades, hasta la cosecha. Los gastos de inversión consisten en la construcción de un pozo profundo de 0.102 m de diámetro y 18 m de profundidad, más la adquisición del sistema de riego por goteo. Se consideró el precio del fruto en campo basado por la oferta y demanda del producto en el mercado regional.

El análisis económico indicó que el cultivo presenta una rentabilidad desde el primer año, si se considera un rendimiento promedio de 19.3 t ha⁻¹ y un precio promedio de campo de \$15 00 kg⁻¹. El flujo de efectivo es positivo desde el primer año y se obtienen los indicadores de eficiencia financiera más atractivos como son el valor presente neto (VPN), la tasa interna de retorno (TIR) y la relación beneficio costo (BC). La relación beneficio costo varió principalmente por el precio promedio en campo del fruto verde en el mercado. Para las fechas de trasplante del 23 de diciembre y 12 de febrero se obtuvieron los indicadores financieros más altos, debido a que el precio promedio fue de \$24.75 kg⁻¹ y \$28.30 kg⁻¹, respectivamente, con un mínimo de \$15.00 kg⁻¹ y un máximo de \$42.00 kg⁻¹.

Para las fechas de trasplante de septiembre se obtuvieron los indicadores financieros más bajos: relación beneficio costo entre 2.6 a 2.8 considerándose precios promedios de \$14.9 kg⁻¹. Al respecto, López *et al.* (2015) encontraron con fechas de trasplante del 30 de enero de 2013 y 15 de febrero de 2013 diferencias en la relación beneficio costo de 3.3 y 1.6, respectivamente, donde el rendimiento de fruto en la fecha de trasplante del 15 de febrero fue afectado principalmente por mosca blanca (*B. tabaci*). Paul *et al.* (2013) encontraron en *C. annum* un incremento de 54% de la relación beneficio costo de 2.4 con sistema de riego por goteo y sin cubierta plástica.

La rentabilidad del chile habanero fue mayor cuando se trasplantó en el mes febrero y diciembre, ya que alcanza precios promedios en campo de \$28.30 kg⁻¹ y \$24.75 kg⁻¹ de fruto verde, respectivamente. Sin embargo, los rendimientos pueden ser más afectados por la mosca blanca y los requerimientos de riego son mayores que las fechas de trasplante de septiembre, lo que disminuye el UEA.

Los resultados obtenidos en términos reales se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Análisis de rentabilidad del cultivo de chile habanero con riego por goteo y cubierta plástica en cinco fechas de trasplantes.

Concepto	Fecha de trasplante				
	17-09-14	30-09-14	23-12-14	10-01-15	12-02-15
Tasa interna de retorno (TIR)%	130.1	134.4	251.7	87.7	321.9
Valor presente neto (VPN)	434 333.4	451 933.3	611 618.1	213 321.9	692 795.4
Relación beneficio costo (RBC)	2.476	2.523	3.123	2.02	3.516
VAN de los beneficios	1 029 106	1 048 818	1 184 163	696 037	1 243 556
VAN de los costos	415 703	415 703	379 200	345 167	353 675

Si se considera el valor de la producción por m^3 de agua aplicada, en términos del VPN, los valores varían desde \$ 93.5 m^{-3} con la fecha de trasplante del 10 de enero hasta \$ 195.4 m^{-3} para la fecha de trasplante del 23 de diciembre. Fan *et al.* (2014) obtuvieron para *C. annum* UEA de riego de 3.01 kg m^{-3} y un valor de la producción por m^3 de agua de \$ 5.7 m^{-3} (0.31 dólares m^{-3}). Los resultados demuestran la rentabilidad del cultivo de chile habanero con sistemas de riego por goteo al obtenerse valores de producción más altos por unidad de volumen de agua aplicada.

Validación de la fecha de trasplante del mes de febrero

En el Cuadro 5 se presentan los resultados de la validación, láminas de riego, rendimiento de frutos y el uso eficiente del agua de riego. La duración del cultivo fue de 145 a 155 días con precipitaciones entre 518 hasta 546 mm. Aunque la duración del cultivo se acorta por las altas temperaturas que ocurren en esta fecha de trasplante y por los daños que ocasiona *B. tabaci*, las láminas de riego se aumentan desde 255 a 276 mm, estas variaron entre 1.5 a 5.5 mm por día, basadas en el cálculo de la evapotranspiración del cultivo y los coeficientes de cultivo con cubierta plástica, utilizados en el estudio. Cabe señalar, que durante la etapa inicial y floración ocurrieron temperaturas mayores que $40 \text{ }^\circ\text{C}$ con ráfagas de vientos a más de 40 km h^{-1} (CONAGUA, 2016), ocasionando caída de flores en el cultivo, afectando los rendimientos de frutos. El rendimiento de frutos varió entre 15.5 a 18.1 t ha^{-1} y el UEA fue de 5.5 a 6.6 kg m^{-3} con un rendimiento promedio de 16.5 t ha^{-1} y UEA promedio de 6.1 kg m^{-3} . Sin embargo, la relación beneficio costo promedio fue de 2.4, considerando que el precio promedio del producto fue de \$ 25.00 kg^{-1} .

Cuadro 5. Validación de la fecha de trasplante del mes de febrero para la producción de chile habanero con riego por goteo en cuatro localidades de Huimanguillo, Tabasco.

Localidad	Duración del cultivo (ddt)	Lámina total de riego (mm)	Rendimiento de frutos (kg ha^{-1})	Uso eficiente del agua (kg m^{-3})
Ej. Ostitán	150	270	15 502	5.74
Ej. El Porvenir	155	276	17 800	6.45
Ej. Paredón 2 ^{da} . sección	145	265	14 750	5.56
Ej. Fco. J. Sta. María	150	275	18 160	6.6
Promedio	150	271.5	16 553	6.09

ddt= días después del trasplante.

Conclusiones

El efecto de las fechas de trasplante del 17 de septiembre al 12 de febrero en el rendimiento de frutos de chile habanero fue similar a excepción de la fecha del 10 de enero que fue afectada por la enfermedad *Phytophthora capsici*. En cuanto al uso eficiente del agua de riego por goteo con cubierta plástica, la fecha de trasplante del 30 de septiembre se incrementó 16.5% con respecto al 12 de febrero y 33.7% con respecto al 10 de enero. La rentabilidad del cultivo fue mayor en las fechas de diciembre y febrero obteniéndose una relación beneficio costo de 3.1 y 3.5, respectivamente.

Las parcelas de validación con fechas de trasplante del mes de febrero y la aplicación de láminas de riego basadas en la evapotranspiración del cultivo, demostraron que la obtención de un rendimiento promedio de 16.5 t ha^{-1} y un UEA de 6.1 kg m^{-3} es suficiente para lograr una rentabilidad atractiva para los productores de la región sur-sureste de México.

Literatura citada

- Allen, G. R.; Pereira, S. L.; Raes, D.; and Smith, M. 2006. Crop Evapotranspiration. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO, Rome, Italy. 300 p.
- Ashrafuzzaman, M.; Abdul, H. M.; Razi, I. R.; Shahidullah, M. S. and Alamgir, H. M. 2011. Effect of Plastic Mulch on Growth and Yield of Chilli (*Capsicum annuum* L.). Brazilian Arch. Biol. Technol. 54(2):321-330.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2015. Comisión Nacional del Agua. Servicio Meteorológico Nacional. <http://smn.conagua.gob.mx/emas/>.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2016. Comisión Nacional del Agua. Servicio Meteorológico Nacional. <http://smn.conagua.gob.mx/emas/>.
- Coelho M. E. H.; Lopes de Freitas, C. F.; Lins, X. J. L.; C.; Francismar de Medeiros, J. and Oliveira da Silva, M. G. 2013. Production and efficiency of water usage in capsicum crops under no tillage and conventional planting systems. Revista Ciencia Agronómica. 44(4):741-749.
- Cosic, M.; Djurovic, N.; Todorovic, M.; Maletic, R.; Zecevic, B. and Stricevic, R. 2015. Effect of irrigation regime and application of kaolin on yield, quality and water use efficiency of sweet pepper. Agric. Water Manag. 159(2015):139-147.
- Doorenbos, J. and Kassam, A. H. 1986. Yield Response to Water. FAO Irrigation and Drainage, Paper No. 33. FAO, Rome, Italy.
- Fan, Y.; Wang, C. and Nan, Z. 2014. Comparative evaluation of crop water use efficiency, economic analysis and net household profit simulation in arid Northwest China. Agric. Water Manag. 146(2014):335-345.
- Gittinger, J. P. 1985. Análisis económico de proyectos Agrícolas, Editorial Tecnos, España.
- González, D. V.; Orgaz, F. and Fereres, E. 2007. Responses of pepper to deficit irrigation for paprika production. Sci. Hortic. 114(2):77-82.
- Hamma, I. L.; Ibrahim, U. and Haruna, M. 2012. Effect of planting date and spacing on the growth and yield of Sweet pepper (*Capsicum Annuum* L.) in Samaru Area of Zaria in Nigeria. Nig. J. Agric. Food Environ. 8(1):63-66.
- Karam, F.; Masaad, R.; Bachour, R.; Rhayem, C. and Roupheal, Y. 2009. Water and Radiation Use Efficiencies in Drip-irrigated Pepper (*Capsicum annuum* L.): Response to Full and Deficit Irrigation Regimes. Eur. J. Hortic. Sci. 74(2):79-85.
- López, L. R.; Inzunza, I. M. A.; Sánchez, C. I.; Fierro, A. A. and Sifuentes, I. E. 2015. Water use efficiency and productivity of habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) based on two transplanting dates. Water Sci. Technol. 71(6):885-891.
- Nagaz, K.; Moncef, M. M. and Ben, M. N. 2012. Effects of deficit drip-irrigation scheduling regimes with saline water on pepper yield, water productivity and soil salinity under arid conditions of Tunisia. J. Agric. Environ. Inter. Development. 106(2): 85-103.
- Paul, J. C.; Mishra, J. N.; Pradhan, L. P. and Panigrahi, B. 2013. Effect of drip and surface irrigation on yield, water use-efficiency and economics of capsicum (*Capsicum annum* L.) grown under mulch and non-mulch conditions in Eastern Coastal India. Eur. J. of Sustainable Development. 2:(1) 99-108.
- SAS (Statistical Analysis Systems) 2009. SAS/STAT® 9.2. User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. 232 p.
- Sezen, S. M.; Yazar, A. and Eker, S. 2006. Effect of drip irrigation regimes on yield and quality of field grown bell pepper. Agric. Water Manag. 81(1-2):115-131.

- Sezen, S. M.; Yazar, A.; Dasgan, Y.; Yucel, S.; Akyıldız, A.; Tekin, S. and Akhoundnejad, Y. 2014. Evaluation of crop water stress index (CWSI) for red pepper with drip and furrow irrigation under varying irrigation regimes. *Agric. Water Manag.* 143:59-70.
- Sujay, Y. H. and Giraddi, R. S. 2014. Investigation on the effects of planting time and plant geometry on the activity of sucking pests of chilli *Capsicum Annuum* L. *Global J. Sci. Frontier Res.* <http://www.journalofscience.org/index.php/GJSFR/article/view/1173/1035>.
- Yildirim, M.; Demirel, K. and Bahar, E. 2012. Effect of restricted water supply and stress development on growth of bell pepper (*Capsicum Annuum* L.) under drought conditions. *J. AgroCrop Sci.* 3(1):1-9.