

RENDIMIENTO Y CALIDAD DE CHILE SECO 'MIRASOL' CULTIVADO BAJO RIEGO PARCIAL DE LA RAÍZ

Alfonso Serna-Pérez¹; Jorge Artemio Zegbe; Jaime Mena-Covarrubias

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.
Campo Experimental Zacatecas. Apartado Postal 18.
Calera de V.R., Zacatecas, C. P. 98500. MÉXICO
Correo-e: serna.alfonso@inifap.gob.mx (¹Autor para correspondencia)

RESUMEN

El uso eficiente de los recursos hídricos es vital en la región productora de chile seco de Zacatecas. El objetivo del estudio fue comparar dos formas de riego parcial de la raíz (RPR) contra el riego comercial (RC) en relación al rendimiento y calidad de fruto, eficiencia del uso del agua de riego (EUAR) y la incidencia relativa de la secadera (IS) del chile cv 'Mirasol'. Los tratamientos de RPR fueron: RPR₅₀ en donde se aplicó el 50 % de RC alternadamente a ambos lados de la zona radicular y RPR₅₀₊₂₀ que fue similar a RPR₅₀, pero además se aplicó el 20 % de RC en el lado en proceso de secado. RPR₅₀ y RPR₅₀₊₂₀ promovieron el ahorro de agua comparado con RC. Las categorías de calidad de chile seco y el rendimiento fueron similares entre tratamientos, pero el rendimiento tendió a reducirse en RPR₅₀ y RPR₅₀₊₂₀ en 2009. La EUAR tendió a incrementarse en RPR₅₀ y RPR₅₀₊₂₀ en relación al RC. La IS fue igual entre tratamientos en 2008, pero en 2009, ésta se incrementó en los tratamientos con RPR. La saturación del suelo por precipitaciones continuas posteriores a la aplicación del riego explicó en parte el incremento en la IS, y por ende la reducción del rendimiento en 2009. No obstante, el RPR₅₀ tendió a incrementar la EUAR en 28 % y a reducir el volumen de agua aplicado en 32 % con respecto a RC. Se concluye que RPR puede ser una estrategia promisoriosa para la sustentabilidad de este sistema de producción.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: *Capsicum annuum* L., ahorro del agua, distribución de materia seca, eficiencia en el uso de agua de riego.

YIELD AND FRUIT QUALITY OF 'MIRASOL' DRY CHILI CROPPED UNDER PARTIAL ROOTZONE DRYING

ABSTRACT

The efficient use of water resources is mandatory for the dry chili producing area of Zacatecas. The objective of this study was to compare two types of partial rootzone drying (PRD) against commercial irrigation (CI) in relation to yield and fruit quality, irrigation water use efficiency (IWUE), and pepper wilt incidence (WI) of chilli cv. 'Mirasol'. PRD treatments were PRD₅₀ on which 50% of CI was applied alternately to both sides of the root zone, and PRD₅₀₊₂₀ which was similar to PRD₅₀, but additionally 20% of CI was applied to the drying side of the root system. PRD₅₀ and PRD₅₀₊₂₀ promoted water savings compared with CI. The fruit quality categories of dry chili and yield were similar among treatments, but yield tended to decrease in PRD₅₀ and PRD₅₀₊₂₀ in 2009. The IWUE tended to increase in PRD₅₀ and PRD₅₀₊₂₀ relative to CI. In 2008 WI was the same among treatments, but in 2009 it increased in the PRD treatments. Soil water saturation by continuous precipitations after irrigation events partially explained the increase in WI, and therefore the reduction in yield in the 2009. Nevertheless, PRD₅₀ tended to increase IWUE by 28 % and to reduce the volume of water applied by 32 % with respect to CI. Therefore, the RPR is a promising strategy for sustainability of this production system.

ADDITIONAL KEY WORDS: *Capsicum annuum* L, water-saving, dry matter distribution, irrigation water use efficiency.

INTRODUCCIÓN

En México, competitiva y socio-económicamente Zacatecas es el estado más importante en la producción de chile seco (Sánchez y Rumayor, 2010). Anualmente se establecen \approx 35 mil hectáreas, mismas que son cultivadas con agua de riego extraída del subsuelo. Este sistema de producción, y otras actividades agropecuarias e industriales, han sobreexplotado los mantos acuíferos de la región (Echavarría *et al.*, 2009). En consecuencia, el uso del agua de riego ha sido limitado como una estrategia conservacionista del agua y para la permanencia de éste y otros sistemas de producción agropecuarios (CNA, 2008). Esta situación ha exigido el desarrollo de estrategias, como el riego reducido, no sólo para el ahorro del agua, sino también para incrementar la eficiencia del uso del agua de riego (EUAR) sin menoscabo del rendimiento y calidad de los productos hortícolas (Kang *et al.*, 2001; Dorji *et al.*, 2005; Passioura, 2006; Campos *et al.*, 2009). El déficit hídrico regulado (DHR) y el riego parcial de la raíz (RPR) son estrategias de riego reducido, las cuales han sido utilizadas exitosamente en cultivos perennes (Behboudian and Mills, 1997; Zegbe *et al.*, 2008) y anuales (Dorji *et al.*, 2005; Liu *et al.*, 2006; Zegbe *et al.*, 2007).

Independientemente del ahorro de agua, la aplicación del DHR, en cultivos perennes y anuales, reduce el rendimiento pero mejora la calidad de la fruta (Behboudian y Mills, 1997); mientras que el RPR incrementa la EUA y mantiene el rendimiento y calidad de los productos hortícolas a nivel de riego comercial (Kang *et al.*, 2001; Zegbe *et al.*, 2007; 2008). Sin embargo, esta última aseveración, no es válida para algunos cultivos anuales como papa (Liu *et al.*, 2006), maíz (Kang *et al.*, 1998), algodón (Tang *et al.*, 2005) y para cultivos con crecimiento indeterminado como el tomate fresco (Kirda *et al.*, 2004) y chile ancho (Dorji *et al.*, 2005). En este último cultivo, se observó que el RPR redujo el rendimiento total de fruto fresco, pero el rendimiento de fruto seco fue similar al observado en plantas con riego comercial (Dorji *et al.* 2005). Esta información es de importancia para la industria de chile seco, ya que frutos con menos agua, teóricamente requerirían menos energía para su secado, pero esto no ha sido evaluado bajo RPR en condiciones de campo. Por otro lado, la incidencia de la secadera (*Phytophthora capsici*) está asociada con el contenido de humedad del suelo (Aguirreolea *et al.*, 1995). Sin embargo, la asociación entre la incidencia de la secadera y la humedad del suelo, no ha sido plenamente demostrada. Entonces, con base en la filosofía del RPR, al mantener el suelo sin exceso de humedad y con buena aireación, se podría favorecer mejores condiciones fitosanitarias que coadyuvarían a reducir la incidencia de la secadera del chile.

La aplicación del RPR sobre la producción de chile seco 'Mirasol' y la incidencia de la secadera ha recibido poca o nula atención en las zonas productoras de México (Serna-Pérez *et al.*, 2008). Consecuentemente el objetivo de este estudio fue comparar dos formas de RPR y el

riego comercial (RC) en la lámina de riego, rendimiento de fruto seco, calidad, eficiencia de uso del agua de riego e incidencia relativa de secadera en chile 'Mirasol' cultivado en una zona semi-árida del centro norte de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental y material genético

El experimento se realizó durante las estaciones de crecimiento de 2008 y 2009 en el Campo Experimental Zacatecas (22° 54' N, 102° 39' O); con altitud de 2,197 m, temperatura media anual de 14.6 °C, precipitación pluvial media anual de 416 mm y evaporación promedio anual de 1,609 mm. Las principales diferencias entre lluvia y evaporación se registran de diciembre a mayo. El suelo es un kastanozem de textura franco-arenosa con pH de 7.5 y un contenido de materia orgánica de 0.57 %. Las plántulas de chile 'Mirasol' se propagaron en invernadero 50 días antes del trasplante, lo cual ocurrió en los días 26 y 11 de abril de 2008 y 2009, respectivamente. Las plantas se establecieron en surcos de 76 cm, a hilera sencilla y a una densidad de 44 mil plantas·ha⁻¹. La fertilización, manejo del cultivo y control de plagas y enfermedades se realizaron siguiendo el protocolo del CEZAC (Bravo *et al.*, 2006).

Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos evaluados fueron: el riego comercial (RC) y dos formas de riego parcial de la raíz (RPR). En el primer tratamiento de RPR, el riego se aplicó alternadamente hacia ambos lados de la zona radicular con el 50 % del volumen de agua suministrado en RC (RPR₅₀). En el segundo tratamiento de RPR, el agua se aplicó igual que en RPR₅₀, pero un 20 % del volumen del agua suministrado en RC, se aplicó al lado que "tradicionalmente" se deja secar en el RPR (RPR₅₀₊₂₀). En los tratamientos con RPR se colocaron dos cintillas paralelas, una en cada lado de la hilera de plantas y separadas a 15 cm de los tallos. Los experimentos se condujeron en un diseño experimental en bloques completos aleatorizados con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue de ocho surcos en donde los cuatro surcos centrales fueron utilizados para la información de las variables de respuesta.

El agua de riego se aplicó dos veces por semana en cada tratamiento, con tres y cuatro días de diferencia entre riegos. La lámina de riego para RC se estimó mediante un balance hídrico a partir de la evapotranspiración del cultivo (ETc) y precipitación efectiva (PPef) acumulada en cada periodo de riego. La ETc se estimó a partir de la evaporación libre del tanque evaporímetro tipo A (Ev), coeficiente del tanque (Kp = 0.75) y coeficientes de cultivo (Kc), los cuales varían de acuerdo al mes del año y la etapa fenológica del cultivo (Bravo y Mojarro, 2006). La relación utilizada fue $ETc = 0.75 \times EV \times Kc$. En la estimación de la PPef se consideró aquellos eventos lluviosos individuales mayores a 5 mm, los cuales se acumularon para el periodo o número de días entre riegos (PPper) y este total se

multiplicó por el factor 0.75 ($PP_{ef} = PP_{per} \times 0.75$, Zegbe-Domínguez *et al.*, 2006).

Variables de respuesta

Rendimiento y componentes de rendimiento.

En cuatro surcos centrales de 10 m de longitud por bloque en cada tratamiento se evaluó el número de frutos, el peso y después la calidad se obtuvo clasificando los frutos secos de primera, segunda, tercera y aquellos manchados. La eficiencia en el uso de agua de riego se estimó con base en el rendimiento por unidad de área por milímetro de agua aplicada.

Concentración de materia seca del fruto.

Al cambio de color (verde-rojo) de la fruta, se muestrearon dos frutos al azar por parcela. Se obtuvo una muestra de 20.5 mm de diámetro de cada fruto, se hizo una muestra compuesta, se pesó en fresco y se llevó a peso constante en estufa por cinco días a 60 °C.

Densidad de la raíz.

La densidad de raíces (DR) se determinó dividiendo el área de la planta de chile en cuatro cuadrantes. Las muestras de suelo se colectaron siempre en el cuadrante superior derecho usando una barrena de caja de 15 cm de diámetro y una profundidad de 40 cm. La pared externa de la barrena se colocó a 5 cm del tallo. El volumen de suelo húmedo colectado se pesó, y en una muestra húmeda de 100 g se determinó el contenido de humedad, para después determinar el peso seco de la muestra. Las raíces fueron separadas del suelo mediante una criba de 5 mm; mientras que las más finas fueron separadas por flotación. La masa radical total obtenida en cada muestra se secó hasta peso constante en estufa por tres días a 60 °C. La DR se estimó en cada muestra como la relación del peso de raíz entre el peso de suelo seco. En este caso, se efectuaron tres muestreos por parcela experimental.

Tasa transpiratoria.

La conductancia estomática y la transpiración se determinó en dos plantas y en una hoja por planta por parcela con un porómetro de punto de equilibrio (modelo LI-1600, Li-Cor Inc., NE, USA) calibrado a las condiciones local y equipado con sensor cuántico.

Incidencia relativa de secadera del chile.

En dos surcos centrales de cada parcela se contó el número total de plantas y el número de plantas con síntomas de secadera. La incidencia se estimó con la relación entre el número de plantas con secadera entre el total de plantas por parcela experimental.

Análisis estadístico

La información se analizó con un modelo lineal en bloques completos al azar con el procedimiento GLM del sistema de análisis estadístico (SAS, 2002). Antes del análisis, las variables de calidad de fruta expresada en porcentaje y la incidencia de secadera, fueron transformadas a arco-seno raíz cuadrada de su valor, respectivamente. Los valores medios por tratamiento, de las variables transformadas, se indicaron después de su re-transformación. La diferencia mínima significativa de Fisher ($P \leq 0.05$) se utilizó como criterio en la comparación de medias de tratamiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El RPR_{50+20} redujo el volumen de agua de riego aplicado de 8.7 a 28.7 % y en el RPR_{50} de 14.5 a 32.8 % con respecto a RC, durante las estaciones de crecimiento de 2008 y 2009, respectivamente (Cuadro 1). Estas diferencias se debieron a las láminas aplicadas durante el período de establecimiento las cuales fueron de 261.3 y 123.2 mm en 2008 y 2009, respectivamente.

CUADRO 1. Lámina de agua aplicada por tratamiento de riego durante la estación de crecimiento de chile mirasol para secado.

Tratamiento de riego	Lámina de agua en mm	
	2008	2009
RC	408.6	627.9
RPR_{50+20}	373.2	448.0
RPR_{50}	349.5	421.8

RC: es riego comercial y RPR es riego parcial de la raíz.

La técnica de RPR ha sido utilizada para ahorrar agua de riego en frutales en regiones húmedas (van Hooijdonk *et al.*, 2007; Zegbe *et al.*, 2008) y semiáridas (Zegbe y Serna-Pérez, 2009), lográndose ahorros de agua de riego entre un 46 y 50 % con respecto al RC. Tal ahorro se logra, en parte, debido a que los cultivos perennes no requieren riegos de establecimiento, excepto por aquél que se aplica al inicio de la estación de crecimiento para reponer la humedad del suelo a capacidad de campo. Para el siguiente riego, la técnica de RPR se aplica durante el resto de la estación de crecimiento. En el caso de cultivos anuales, como el chile, requieren de la aplicación de una cierta lámina de riego con el propósito de establecer (trasplantar) los cultivos. En consecuencia, estos riegos al inicio del cultivo, no permiten alcanzar un ahorro de agua ≈ 50 % con relación al volumen aplicado en RC. En este experimento, las láminas de riego aplicadas durante 2009 fueron mayores a las aplicadas en 2008 (Cuadro 1). Esto se debió a que la lluvia efectiva captada en las parcelas experimentales durante 2009 fue de apenas un 53.5 % en comparación con la lluvia efectiva captada durante 2008. La precipitación efectiva acumulada en la estación de crecimiento de 2008 y 2009 fue de 266.8 y 142.7 mm, respectivamente.

CUADRO 2. Distribución promedio del peso de fruto seco de chile de primera (P), segunda (S), tercera (T) y manchado (M), rendimiento (R, ton·ha⁻¹) y eficiencia en el uso de agua de riego (EUAR, kg·ha⁻¹·mm⁻¹) en los tratamientos de riego (TR). Riego comercial (RC) y riego parcial de la raíz (RPR).

TR	Evaluación											
	2008						2009					
	Distribución del peso de fruto seco (%)						Distribución del peso de fruto seco (%)					
	P	S	T	M	R	EUAR	P	S	T	M	R	EUAR
RC												
RPR ₅₀₊₂₀	51.2a	10.7a	15.7a	22.3a	3.4a	8.3a	68.8a	11.4a	11.2a	8.6a	2.0a	3.22a
RPR ₅₀	54.3a	12.3a	18.4a	14.9a	2.9a	7.8a	73.4a	8.3b	11.5a	6.8b	1.7a	3.81a
DMS	57.6a	13.2a	16.8a	12.3a	3.5a	10.1a	72.6a	8.3b	13.8a	5.3c	1.7a	4.06a
CV	11.5	2.9	6.2	10.2	0.82	2.31	5.7	1.7	4.4	1.2	0.65	1.42
	8.1	7.1	10.9	15.7	14.4	14.7	3.6	5.3	10.7	4.8	20.8	22.2

Letras diferentes dentro de columnas en cada variable indican diferencias significativas (DMS, 0.05). Los valores expresados en porcentaje fueron transformados a arco seno antes de su análisis. Coeficiente de variación (CV, %).

La calidad de los frutos de chile seco, expresados en porcentaje, fue estadísticamente ($P < 0.05$) igual entre los tratamientos de riego en los dos años de evaluación (Cuadro 2). Sin embargo, los dos tratamientos de RPR tendieron a incrementar los frutos de primera en la evaluación 2008; esta tendencia fue mayor en la evaluación de 2009; donde además, el chile seco de segunda y manchado se redujo con la aplicación del RPR con respecto a aquellos producidos con RC. Este último resultado sólo fue consistente con el porcentaje observado de chile manchado durante la evaluación de 2008 (Cuadro 2).

En promedio, el rendimiento de chile seco no fue estadísticamente diferente ($P < 0.05$) entre tratamientos en la evaluación 2008 (Cuadro 2). No obstante, el rendimiento del tratamiento RPR₅₀, fue ligeramente mayor al obtenido en plantas con RC. En contraste, aun cuando el RPR₅₀₊₂₀ recibió un 20 % más de agua de riego que en RPR₅₀, el rendimiento tendió a reducirse, en promedio, 14.7 y 17.1 % con respecto a RC y RPR₅₀, respectivamente.

En la evaluación de 2009, el rendimiento fue estadísticamente igual ($P < 0.05$) entre tratamientos (Cuadro 2). Sin embargo, en esta ocasión se observó una clara tendencia en la reducción del rendimiento de chile seco en los tratamientos con RPR en comparación con RC. El rendimiento promedio producido por los tratamientos de riego en la evaluación 2008 fue mayor al registrado en 2009. Esto quizá fue debido, en parte, a que en 2009 la lluvia efectiva fue menor que la registrada durante 2008.

Aun cuando la eficiencia en el uso de agua de riego tendió a incrementarse en los tratamientos con RPR, ésta fue estadísticamente igual a la observada en RC en los dos años de evaluación (Cuadro 2). La información sugiere que la aplicación del RPR en plantas con un hábito de crecimiento indeterminado, donde los flujos reproductivos se traslapan, induce efectos adversos en el rendimiento (Kang *et al.*, 2001; Kirda *et al.*, 2004; Dorji *et al.*, 2005); y luego entonces la eficiencia en el uso de agua puede no ser incrementada significativamente debido a la reducción en el rendimiento. Lo opuesto ocurre en tomate para proceso,

cuyo hábito de crecimiento es determinado (Zegbe *et al.*, 2007; Campos *et al.*, 2009).

La incidencia relativa de la enfermedad conocida como secadera del chile fue en promedio igual ($P < 0.05$) entre tratamientos en la evaluación 2008 (Cuadro 3). En contraste, en 2009 los valores promedio de esta variable se incrementaron significativamente ($P < 0.05$) en RPR₅₀₊₂₀ seguida por RPR₅₀ y RC (Cuadro 3). Con frecuencia esta enfermedad está asociada con altos contenidos de humedad en el suelo (Aguirreolea *et al.*, 1995). La precipitación pluvial acumulada durante la estación de crecimiento fue de 398.2 y 231.2 mm en 2008 y 2009, respectivamente. La primera de ellas se considera igual a la precipitación promedio del sitio pero la segunda fue inferior al promedio local, por lo tanto 2009 se consideró como un año seco. Sin embargo, fue en este último año donde ocurrió la incidencia más alta de esta enfermedad. Este comportamiento puede ser explicado por el hecho de que a finales de junio de 2009 se registraron tres eventos lluviosos que en conjunto acumularon una precipitación efectiva de 35.9 mm. Estas precipitaciones ocurrieron tres días después del último riego. Esto representó un exceso del 62 % de la humedad aprovechable en la zona de exploración del sistema radical. Lo anterior propició una saturación de la humedad del suelo en un intervalo corto,

CUADRO 3. Incidencia relativa (%) de secadera del chile en los tratamientos de riego comercial (RC) y riego parcial de la raíz (RPR).

Tratamientos/ Años	Incidencia de secadera (%)	
	2008	2009
RC	3.3a	10.6c
RPR ₅₀₊₂₀	2.4a	25.0a
RPR ₅₀	1.7a	15.0b
DMS	1.9	4.3
CV	16.5	7.0

Por año, letras diferentes indican diferencias significativas (DMS, 0.05). Los valores expresados en porcentaje fueron transformados a arco seno antes de su análisis. Coeficiente de variación (CV, %).

CUADRO 4. Efecto de tratamientos de riego (TR) sobre algunas variables de respuesta. Riego comercial (RC) y parcial de la raíz (RPR) Concentración de materia seca del fruto en base a peso fresco (CMS), peso medio de fruto seco (PMFS), número total de frutos por m² (NTF), densidad de raíces expresada como masa seca de raíz por masa de suelo (DR), conductancia estomática (g_s) y transpiración (E).

TR	CMS (mg·g ⁻¹ PF)	PMFS (g)	NTF	DR (g·kg ⁻¹)	g _s (cm·s ⁻¹)	E (μg·cm ⁻² ·s ⁻¹).
2008						
RC	322.9a	6.1a	56ab		1.22a	13.1a
RPR ₅₀₊₂₀	343.4a	5.6a	51b		0.91a	11.1a
RPR ₅₀	344.6a	5.7a	61a		0.88a	11.2a
DMS	76.9	0.96	6		0.37	3.4
CV	29.6	9.6	6		13.0	7.4
2009						
RC	259.6a	5.3a	38a	2.6a	0.83a	12.1a
RPR ₅₀₊₂₀	231.3a	4.8a	35a	3.4a	0.68ab	10.6b
RPR ₅₀	226.3a	4.6a	37a	2.8a	0.63b	10.1b
DMS	43.0	0.74	11	0.8	0.16	1.4
CV	10.4	6.3	17	14.5	12.8	7.8

Por año, letras diferentes dentro de cada columna indican diferencias significativas (DMS = 0.05). Coeficiente de variación (CV, %).

lo que pudo inducir condiciones óptimas para el desarrollo del patógeno o agente causal. Mientras que en 2008 no se presentaron condiciones de exceso de humedad en el suelo debido a que los eventos lluviosos fueron más frecuentes, lo que ayudó a un mejor manejo del riego. La reducción del rendimiento en 2009 (Cuadro 2), puede ser también explicada en parte por el incremento en la incidencia relativa de secadera del chile durante ese ciclo (Cuadro 3). En 2009, en todos los tratamientos se perdió un número significativo de plantas que se encontraban en floración y en una etapa temprana del crecimiento de frutos en comparación con el año 2008.

Se ha documentado que los sistemas radicales de las plantas que se desarrollan bajo el riego parcial de la raíz tienen una mayor capacidad para explorar el suelo tanto en profundidad como en amplitud (Dodd, 2009), lo cual es similar al efecto que produce el déficit hídrico en la raíz (Kulkarni y Phalke, 2009). Por lo que la mayor incidencia relativa de secadera del chile en los tratamientos de riego parcial de la raíz durante 2009 (Cuadro 3), puede ser explicada por la relación directa que tiene con la mayor densidad de raíces en RPR₅₀₊₂₀ y RPR₅₀ (Cuadro 4). Así a un volumen mayor de masa radical muy posiblemente correspondió con una mayor oportunidad para la acción del agente causal, el cual se manifestó con un incremento en la incidencia de secadera en los tratamientos con RPR. Sin embargo, no existe información básica acerca de cómo actúa el patógeno bajo el ciclo de humedecimiento y secado del suelo impuesto por el RPR, por lo tanto es necesario realizar investigaciones con RPR bajo condiciones controladas en invernadero con respecto a este fenómeno.

En la evaluación de 2008 y 2009, la concentración de materia seca y el peso medio del fruto seco del chile fueron estadísticamente ($P < 0.05$) iguales entre tratamientos (Cuadro 4). El RPR₅₀₊₂₀ produjo el menor número total de frutos por metro cuadrado comparado con los otros dos tratamientos, pero este resultado, no fue consistente en la evaluación de 2009. La información relacionada con la

densidad de raíces, sólo se colectó en 2009. Esta última variable, aun cuando no significativa entre tratamientos, tendió a incrementarse en los tratamientos con RPR, lo cual es indicativo que el RPR desarrolló un déficit hídrico en las plantas (Kulkarni y Phalke, 2009; Cuadro 4).

En riego parcial, las raíces que están siendo sometidas a déficit hídrico envían información hormonal (no hidráulica) hacia la parte aérea de la planta (hojas principalmente), las cuales actúan en parte limitando la apertura estomática (Dodd, 2009). Aun cuando no significativa entre tratamientos, la conductancia estomática y la transpiración tendieron a reducirse en los tratamientos con RPR en comparación con el RC en la evaluación 2008. En 2009, ambos parámetros fueron significativamente menores en los tratamientos con RPR (Cuadro 4). El cierre estomático parcial podría explicar en parte la reducción del rendimiento en los tratamientos con RPR, porque la asimilación de CO₂ debió ser proporcionalmente menor en los tratamientos con RPR (Zegbe *et al.*, 2007).

CONCLUSIONES

La técnica del riego parcial tendió a incrementar la eficiencia en el uso del agua y la calidad de chile seco. No obstante que la incidencia de secadera no fue consistente en las dos estaciones de crecimiento, el riego parcial, contribuyó a un ahorro hasta del 32 % del agua de riego. Por lo tanto, esta técnica de riego puede ser una alternativa sustentable para la conservación del agua del subsuelo en la producción de chile seco de esta región y en otros agro-sistemas similares.

AGRADECIMIENTOS

A los Sres. Miguel Juárez Aguilar y Pedro Castañón Hernández por su invaluable ayuda. Este estudio fue parcialmente financiado por el proyecto CONACYT Núm. de proyecto SNI-53131 y por la Fundación Produce Zacatecas, A.C., Núm. de proyecto 097/FPZ/2005.

LITERATURA CITADA

- AGUIRREOLEA, J.; IRIGOYEN, J.; SANCHEZ-DIAZ, M.; SALAVERRI, J. 1995. Physiological alterations in pepper during wilt induced by *Phytophthora capsici* and soil water deficit. *Plant Pathology* 44(3): 587-596.
- BEHBOUDIAN, M. H.; MILLS, T. M. 1997. Deficit irrigation in deciduous orchards. *Horticultural Reviews* 21: 105-131.
- BRAVO, L.A.G.; GALINDO-GONZÁLEZ, G.; AMADOR-RAMÍREZ, M.D. 2006. Tecnología de producción de chile seco. INIFAP, CIRNOC, Campo Experimental Zacatecas. Libro Técnico Núm. 5., 222 p.
- BRAVO, L.A.G.; MOJARRO, D.F. 2006. Riego por goteo y fertirrigación. p. 61-76. *In: Tecnología de producción de chile seco.* BRAVO-LOZANO, A. G.; GALINDO-GONZÁLEZ, G.; AMADOR-RAMÍREZ, M. D. (eds.). INIFAP, CIRNOC, Campo Experimental Zacatecas. Libro Técnico Núm. 5.
- CAMPOS, H.; TREJO, C.; PEÑA-VALDIVIA, C. B.; RAMÍREZ-AYALA, C.; SÁNCHEZ-GARCÍA, P. 2009. Effect of partial rootzone drying on growth, gas exchange, and yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Scientia Horticulturae* 120: 493-499.
- CNA (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA). 2008. Estadísticas del Agua en México 2008. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (ed.). México, D.F. 233 p.
- DODD, I. C. 2009. Rhizosphere manipulations to maximize 'crop per drop' during deficit irrigation. *Journal of Experimental Botany* 60(9): 2454-2459.
- DORJI, K.; BEHBOUDIAN, M. H.; ZEGBE-DOMÍNGUEZ, J. A. 2005. Water relations, growth, yield, and fruit quality of hot pepper under deficit irrigation and partial rootzone drying. *Scientia Horticulturae* 104: 137-149.
- ECHAVARRÍA, C.F.G.; MEDINA-GARCÍA, G.; RUMAYOR-RODRÍGUEZ, A. F.; SERNA-PÉREZ, A.; SALINAS-GONZÁLEZ, H.; BUSTAMANTE-WILSON, J. G. 2009. Diagnóstico de los recursos naturales para la planeación de la intervención tecnológica y el ordenamiento ecológico. INIFAP, CIRNOC, Campo Experimental Zacatecas. Libro Técnico Núm. 10. 174 p.
- KANG, S.; LIANG, Z.; HU, W.; ZHANG, Y. J. 1998. Water use efficiency of controlled alternate irrigation on root-divided maize plants. *Agricultural Water Management* 38: 69-76.
- KANG, S.; ZHANG, L.; HU, X.; LI, Z.; JERIE, P. 2001. An improved water use efficiency for hot pepper grown under controlled alternate drip irrigation on partial roots. *Scientia Horticulturae* 89: 257-267.
- KIRDA, C.; CETIN, M.; DASGAN, Y.; TOPCU, S.; KAMAN, H.; EKICI, B.; DERICI, M. R.; OZGUVEN, A. I. 2004. Yield response of greenhouse grown tomato to partial root drying and conventional deficit irrigation. *Agricultural Water Management* 69: 191-201.
- KULKARNI, M., PHALKE, S. 2009. Evaluating variability of root size system and its constitutive traits in hot pepper (*Capsicum annum* L.) under water stress. *Scientia Horticulturae* 120: 159-166
- LIU, F.; SHAHNAZARI, A.; ANDERSEN, M. N.; JACOBSEN, S. E.; JENSEN, C. 2006. Effects of deficit irrigation (DI) and partial root drying (PRD) on gas exchange, biomass partitioning, and water use efficiency in potato. *Scientia Horticulturae* 109: 113-117.
- PASSIOURA, J. 2006. Increasing crop productivity when water is scarce— from breeding to field management. *Agricultural Water Management* 80: 176-196.
- SÁNCHEZ, T.B.I.; RUMAYOR, R.A.F. 2010. Evaluación del entorno para la innovación tecnológica en Zacatecas. *Publicación Especial Núm. 18.* Campo Experimental Zacatecas. CIRNOC-INIFAP. 20 p.
- SERNA-PÉREZ, A.; ZEGBE, J. A.; MENA-COVARRUBIAS, J.; RUBIO-DÍAZ, S. 2008. Sistemas de manejo para la producción sustentable de chile seco cv. 'Mirasol'. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31: 41-44.
- SAS (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM). 2002. SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA.
- TANG, L.S.; LI, Y.; ZHANG, J. 2005. Physiological and yield responses of cotton under partial rootzone drying. *Field Crops Research* 94: 214-223.
- VAN HOOIJDONK B. M.; DORJI K; BEHBOUDIAN M. H. 2007. Fruit quality of 'Pacific Rose™' apple grown under partial rootzone drying and deficit irrigation. *Journal of Food Agriculture and Environment* 5: 173-178.
- ZEGBE-DOMÍNGUEZ, J. A.; SERNA-PÉREZ, A.; BRAVO-LOZANO, A. G. 2006. Riego parcial de la raíz en manzano 'Golden Delicious' en un ambiente semi-árido. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29: 69-73.
- ZEGBE, J. A.; BEHBOUDIAN, M. H; CLOTHIER, B. E. 2007. Response of tomato to partial rootzone drying and deficit irrigation. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30: 125-131.
- ZEGBE, J. A.; BEHBOUDIAN, M. H; CLOTHIER, B. E.; LANG, A. 2008. Postharvest performance of cv. 'Pacific Rose™' apple grown under partial rootzone drying. *HortScience* 43: 952-954.
- ZEGBE, J. A.; SERNA-PÉREZ, A. 2009. El riego parcial de la raíz incrementa la productividad del agua en manzano en un ambiente semiárido. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15(2): 111-118.