

REDUCCIÓN DE LA IRRIGACIÓN: UNA ALTERNATIVA PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DEL AGUA DE RIEGO EN LA PRODUCCIÓN DE CHILE cv. 'MIRASOL'

ALFONSO SERNA PÉREZ, JORGE A. ZEGBE DOMÍNGUEZ,
AURELIO BÁEZ PÉREZ



SAGARPA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA,
GANADERÍA, DESARROLLO RURAL,
PESCA Y ALIMENTACIÓN



inirap
Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Centro de Investigación Regional Norte Centro
Campo Experimental Zacatecas
Calera de V.R., Zacatecas.
Diciembre 2016
Folleto técnico No. 76
ISBN: 978-607-37-0679-7

**SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA,
DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN**

M.A. JOSÉ EDUARDO CALZADA ROVIROSA
Secretario

LIC. JORGE ARMANDO NARVÁEZ NARVÁEZ
Subsecretario de Agricultura

M.C. MELY ROMERO CELIS
Subsecretario de Desarrollo Rural

M.C. RICARDO AGUILAR CASTILLO
Subsecretario de Alimentación y Competitividad

**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES
FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS**

DR. LUIS FERNANDO FLORES LUI
Director General

DR. RAÚL G. OBANDO RODRÍGUEZ
Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

M. C. JORGE FAJARDO GUEL
Coordinador de Planeación y Desarrollo

MTRO. EDURADO FRANCISCO BERTERAME BARQUÍN
Coordinador de Administración y Sistemas

CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL NORTE CENTRO

DR. HOMERO SALINAS GONZÁLEZ
Director Regional

DR. FRANCISCO JAVIER PASTOR LÓPEZ
Director de Investigación

ING. RICARDO CARRILLO MONSIVÁIS
Director de Administración

DR. FRANCISCO GPE. ECHAVARRÍA CHÁIREZ
Director de Coordinación y Vinculación en Zacatecas

REDUCCIÓN DE LA IRRIGACIÓN: UNA ALTERNATIVA PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DEL AGUA DE RIEGO EN LA PRODUCCIÓN DE CHILE cv. 'MIRASOL'

Dr. Alfonso Serna-Perez¹
Dr. Jorge A. Zegbe Domínguez¹
Dr. Aurelio Báez Pérez²

¹ Investigadores. Campo Experimental Zacatecas. INIFAP.

² Investigador. Campo Experimental Bajío. INIFAP

REDUCCIÓN DE LA IRRIGACIÓN: UNA ALTERNATIVA PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DEL AGUA DE RIEGO EN LA PRODUCCIÓN DE CHILE cv. 'MIRASOL'

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Progreso No. 5,
Barrio de Santa Catarina
Delegación Coyoacán,
C.P. 04010 México, D.F.
Teléfono (55) 3871-8700

ISBN: 978-607-37-0679-7

Primera edición: Diciembre 2016

No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, fotocopia por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de la Institución.

Cita correcta:

Serna-Pérez A., Zegbe D. J.A., Báez P. A. Reducción de la irrigación: una alternativa para mejorar la productividad del agua de riego en la producción de chile cv. 'Mirasol'. Folleto Técnico No. 76. Campo Experimental Zacatecas. CIRNOC-INIFAP.

CONTENIDO

INTRODUCCION	1
PORQUE REDUCIR EL VOLUMEN DE AGUA IRRIGADA	2
QUE SE PROPONE	3
Riego Parcial de la Raíz	3
Riego Deficitario	5
CUANTA AGUA SE PUEDE AHORRAR CON ESTAS TÉCNICAS DE RIEGO	6
QUE SUCEDE CON LA CALIDAD Y RENDIMIENTO DEL CHILE AL REDUCIR EL RIEGO	8
Con el Riego Parcial de la Raíz	8
Con el Riego Deficitario	12
QUE PASA CON LA NUTRICIÓN DE LAS PLANTAS DE CHILE AL REDUCIR EL RIEGO.	17
En el Riego Parcial de la Raíz	17
En el Riego Deficitario	17
EN CONCLUSION	18
LITERATURA CITADA	20

INTRODUCCION

En la región productora de chile en Zacatecas es necesario lograr un uso eficiente de los recursos hídricos. Como medida para conservar la vida útil de los acuíferos de la región, la Comisión Nacional del Agua ha limitado el consumo del agua de riego a un volumen de 60 mil m³/ha/ciclo, que representa alrededor del 50% del volumen de agua utilizada por los agricultores actualmente.

El riego deficitario y el riego parcial de la raíz son estrategias de riego que se han utilizado para reducir el consumo de agua para la producción de cosechas. Con estas formas de riego es posible mantener un suelo sin exceso de humedad y con buena aireación (que promuevan buenas condiciones fitosanitarias) y ahorrar agua.

Las estrategias para ahorrar agua tienen efectos en el rendimiento de los cultivos. Por ejemplo, en maíz el riego parcial redujo la producción de biomasa de un 6 a 11% con respecto al riego completo, pero incrementó la eficiencia en el uso del agua (Kang *et al.*, 1998). En el cultivo de chile, el rendimiento de fruto fresco se redujo en 19 y 34.7% para riego parcial y deficitario, respectivamente, al compararlo con el riego completo, pero no hubo reducción de rendimiento de chile seco (Dorji *et al.*, 2005).

PORQUE REDUCIR EL VOLUMEN DE AGUA IRRIGADA

La explotación extensiva del cultivo de chile ha ocasionado un impacto negativo en la calidad del suelo y el volumen de agua almacenada en el subsuelo (Echavarría *et al.*, 2009). Por lo que la sustentabilidad del cultivo debe basarse en sistemas de manejo que mejoren la productividad del suelo y alternativas para elevar la productividad del agua de riego. La reducción del volumen de agua de riego aplicada al cultivo se ha propuesto como estrategia para asegurar la permanencia de los sistemas de producción agropecuarios (CNA, 2008).

Actualmente se cuenta con estrategias, como el riego reducido, que promueven el ahorro del agua e incrementan la eficiencia del uso del agua de riego 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 riego deficitario y el riego parcial de la raíz 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).

El cultivo del chile es altamente sensible al déficit hídrico (Delfine *et al.*, 2002; De Pascale *et al.*, 2003), en particular durante el cuajado de frutos (Katerji *et al.*, 1993). Independientemente del ahorro de agua, la aplicación del riego deficitario, en cultivos perennes y anuales, reduce el rendimiento pero mejora la calidad de la fruta

(Behboudian y Mills, 1997); mientras que el riego parcial incrementa la eficiencia del agua de riego y mantiene el rendimiento y calidad de los productos hortícolas al nivel del 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). En Chile ancho como ya se mencionó anteriormente reduce el rendimiento en verde pero en Chile seco se mantiene a niveles comparables al del riego completo (Dorji *et al.* 2005). En esta publicación se muestra el impacto de riego deficitario y riego parcial de la raíz sobre el rendimiento y productividad del agua.

QUE SE PROPONE

El riego comúnmente se aplica para cubrir el mayor porcentaje de las necesidades hídricas del cultivo. A esta forma de riego se le conoce como riego completo y consiste en aplicar el 100 por ciento de los requerimientos hídricos del cultivo, los cuales son estimados a partir de la evapotranspiración del cultivo corregida por la lluvia efectiva. Esta tecnología de manejo de riego es la recomendada para proporcionar un óptimo de humedad y cubrir el total de las necesidades de agua del cultivo sin provocar estrés hídrico. Pero hay actualmente otras formas alternativas de aplicar el agua de riego, estas son:

Riego Parcial de la Raíz (Davies *et al.*, 2002). Consiste en aplicar el 50 % del agua aplicada en el riego completo.

Ésta se aplica mediante dos líneas regantes o cintillas colocadas de forma paralela a cada lado de las hileras de chile y separadas 15 a 20 cm del tallo de las plantas. El control de cada línea regante se efectúa mediante válvulas de paso manipuladas manualmente. La tecnología del riego parcial consiste en regar la mitad de la zona radicular mientras la otra mitad se deja secar hasta un nivel de humedad predeterminado, para posteriormente intercambiar la posición del lado con riego y del lado en proceso de secado (Figura 1, Dorji *et al.*, 2005). En la figura 2 se presenta el riego parcial en el terreno de cultivo.

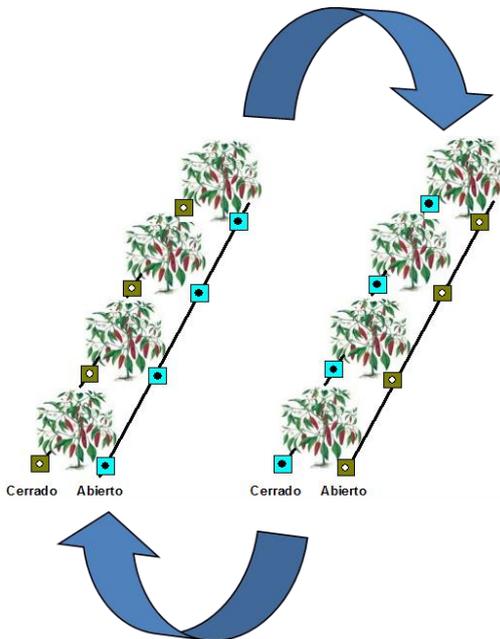


Figura 1. Esquema de aplicación del agua de riego en las líneas regantes bajo riego parcial de la raíz.



Figura 2. Fotografía presentando las líneas regantes (cintilla) y su posición con respecto a la planta en el riego parcial de la raíz.

Riego Deficitario. Se aplica una fracción (%) del total de agua aplicada en riego completo (RC). También se pretende someter a la planta a un menor estrés hídrico, pero conservando las características de ahorro del agua. Sin embargo, en este caso solo se usa una línea regante y el bulbo de mojado de la humedad del suelo decrece paulatinamente en cada riego hasta recuperarse en la estación de lluvias (Figura 3). En este caso el estrés hídrico podría ser más severo que en las técnicas de riego parcial.



Figura 3. Fotografía de la línea regante en riego deficitario.

CUANTA AGUA SE PUEDE AHORRAR CON ESTAS TÉCNICAS DE RIEGO.

Durante el período de evaluación en pruebas de campo, el riego parcial redujo el volumen de agua de riego aplicado en 14.5, 32.8 y 32.4 % con respecto al riego completo en los años 1, 2 y 3; respectivamente (Cuadro 1). A partir del segundo año, el ahorro del agua de riego en el riego parcial fue del 30 por ciento. Los cultivos anuales, como el chile, requieren de la aplicación de una cierta lámina de riego con el propósito de su establecimiento. En consecuencia no es posible alcanzar un ahorro de agua de 50 % con relación al riego completo como se esperaba. La variación en las láminas de riego

fue debida a la cantidad de precipitación efectiva durante la estación de crecimiento que fue de 267 mm, 143 mm y 205 mm, respectivamente.

Cuadro 1. Lámina de agua aplicada (mm) por tratamiento de riego durante la estación de crecimiento de chile mirasol para secado en tres años de evaluación.

Tratamiento de Riego	Lámina de agua en mm		
	Año 1	Año 2	Año 3
Riego Completo	409	628	527
Riego parcial de la Raíz	350	422	356
Precipitación Efectiva	267	143	205

Las láminas de riego aplicadas por tratamiento de riego deficitario y completo durante las estaciones de crecimiento evaluadas para chile mirasol para secado se presentan en el Cuadro 2. El riego deficitario usando el 85, 70 y 55 % del riego completo redujo respectivamente un 5, 9 y 13.2 % el volumen de agua aplicado durante el primer año; un 10, 20.3 y 27 % del volumen aplicado durante el segundo año; y durante el tercer año redujo el volumen de agua aplicado en un 9.5, 19 y 28.7 %. Considerando la evolución de los tratamientos de riego deficitario en el periodo de estudio, se puede decir que se estabilizaron aproximadamente en un ahorro de 10, 20 y 30 % cuando se aplicó el 85, 70 y 55 % del riego completo.

En la mayoría de los casos, las láminas de agua aplicadas fueron menores a 600 mm/ciclo (Cuadros 1 y 2). Esta última es la cantidad que CONAGUA establece como el límite de volumen de agua a utilizarse para este cultivo en la zona productora de Zacatecas.

Cuadro 2. Lámina de agua aplicada (mm) por tratamiento de riego durante la estación de crecimiento de chile mirasol para secado en tres años de evaluación.

Tratamiento de Riego	Lámina de agua en mm		
	Año 1	Año 2	Año 3
Riego Completo (RC)	409	567	527
Riego Deficitario 85% de RC	391	510	477
Riego Deficitario 70% de RC	373	452	427
Riego Deficitario 55% de RC	355	414	376
Precipitación Efectiva	267	143	205

QUE SUCEDE CON LA CALIDAD Y RENDIMIENTO DEL CHILE AL REDUCIR EL RIEGO

Con el Riego Parcial de la Raíz. La calidad del chile seco, expresada como porcentaje (%) de frutos de primera, fue igual entre los tratamientos de riego en los tres años de evaluación (Cuadros 3, 4 y 5). Por otro lado, también el rendimiento promedio de chile seco fue estadísticamente igual. Estos es muy importante ya que es evidencia de que es posible reducir el volumen de agua de riego aplicado sin afectar de manera importante el rendimiento y la calidad del chile cv. 'Mirasol'.

La reducción del rendimiento en el segundo y tercer año (Cuadros 4 y 5), se debió a una mayor incidencia de la enfermedad conocida como secadera del chile. La cual fue ocasionada por lluvias que ocurrieron muy cercanas unas de otras en el tiempo, en ocasiones en días consecutivos, lo que ocasionó la saturación de la superficie del suelo y el estancamiento de la humedad en las partes bajas de la parcela en producción.

Aún cuando la productividad del agua de riego (PAR) tendió a incrementarse en el tratamiento con riego parcial, ésta fue estadísticamente igual a la observada en el riego completo en el primero y segundo años (Cuadros 3 y 4), y solo significativamente mayor en el tercero (Cuadro 5).

La información sugiere que la aplicación del riego parcial 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.*, 2001; 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 (Campos *et al.*, 2009).

Cuadro 3. Fruto seco de primera, rendimiento ($\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$) y productividad del agua de riego (PAR, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$) en el primer año de evaluación.

Tratamiento de Riego	% de fruto seco de primera	Rendimiento total ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	PAR ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$)
Riego Completo	[£] 51.2 a	3.4 a	8.3 a
Riego parcial de la Raíz (50)	57.6 a	3.5 a	10.1 a

[£]Por columna, medias seguidas por la misma letra son estadísticamente iguales al 5% de probabilidad según prueba Tukey.

Cuadro 4. Fruto seco de primera, rendimiento ($\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$) y productividad del agua de riego (PAR, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$) en el segundo año de evaluación.

Tratamiento de Riego	% de fruto seco de primera	Rendimiento total ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	PAR ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$)
Riego Completo	68.8 a	2.0 a	3.2 a
Riego parcial de la Raíz (50)	72.6 a	1.7 a	4.1 a

[£]Por columna, medias seguidas por la misma letra son estadísticamente iguales al 5% de probabilidad según prueba Tukey.

Cuadro 5. Fruto seco de primera, rendimiento ($\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$) y productividad del agua de riego (PAR, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$) en el tercer año de evaluación.

Tratamiento de Riego	Fruto seco primera (%)	Rendimiento total ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	PAR ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$)
Riego Completo	52.8 a	2.6 a	4.9 b
Riego parcial de la Raíz (50)	48.3 a	2.5 a	6.9 a

[¶]Por columna, medias seguidas por la misma letra son estadísticamente iguales al 5% de probabilidad según prueba Tukey.

Con el Riego Deficitario. La calidad del chile seco, expresada como porcentaje (%) de frutos de primera, no fue afectada por los tratamientos de riego deficitario durante los dos primeros años de evaluación (Cuadros 6 y 7). Aunque los valores promedio tienden a ser mayores en el segundo año, alcanzando en todos los casos valores cercanos al 70% o ligeramente mayores (Cuadro 7). En el tercer año, la proporción de chiles de primera fue significativamente mayor en los tratamientos de riego deficitario con 70 y 85% de RC que en el riego completo (Cuadro 8).

Con respecto al rendimiento, el tratamiento de riego completo en general fue ligeramente mayor que los tratamientos de riego deficitario (Cuadros del 6 al 7). La reducción del rendimiento es congruente con lo esperado al aplicar un volumen menor de agua de riego que el necesario para cumplir con las demandas de humedad del ambiente. En el segundo año de evaluación, el rendimiento se redujo en todos los tratamientos con respecto al año anterior. El mayor rendimiento se obtuvo en el riego completo, seguido por el riego deficitario con 85 % de RC (Cuadro 7). Al final del ciclo de evaluación (Cuadro 8), los tratamientos de riego completo y riego deficitario con 70 % de RC mostraron los mayores rendimientos de chile seco. En éste último tratamiento el rendimiento fue mayor al de los tratamientos de riego deficitario con 85 y 55 % de RC, con una diferencia a su favor de 600 a 700 kg ha⁻¹; respectivamente.

Durante el período de evaluación, el tratamiento de riego deficitario con 70 % de RC mantuvo la mayor parte del tiempo rendimientos similares al tratamiento de riego deficitario con 85 % de RC e incluso igual al del riego completo al tercer año. Este comportamiento indica que la planta produce procesos fisiológicos para ajustarse al déficit hídrico que no afectan significativamente el amarre de frutos y, que cuando el temporal se establece y hay humedad cambian hacia procesos fisiológicos de formación, desarrollo y maduración de los frutos.

La productividad del agua de riego (PAR) durante el primer año de evaluación fue en general mayor para todos los tratamientos comparado con sus similares en los dos años posteriores (Cuadros del 6 al 8). Al inicio de la evaluación del riego deficitario, la reducción de la lámina aplicada en 85 y 70 por ciento del volumen requerido para el riego completo no redujo de manera significativa la productividad del agua sino solo hasta que se aplicó un 55 % del RC (Cuadro 6). Este comportamiento fue muy similar durante el segundo año de evaluación pero con una caída generalizada de la productividad del agua de riego en todos los tratamientos de riego deficitario evaluados e incluso en el riego completo (Cuadro 7). Al final de la evaluación, la productividad del agua de riego se incremento en los tratamientos de riego deficitario con 70 y 55 % de RC (Cuadro 8), muy probablemente debido a la reducción en tiempo del periodo de establecimiento de plántulas y una mayor habilidad en el manejo del riego deficitario.

Cuadro 6. Fruto seco de primera, rendimiento ($\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$) y productividad del agua de riego (PAR, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$) en el primer año de evaluación.

Tratamiento de Riego	Fruto seco primera (%)	Rendimiento total ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	PAR ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$)
Riego Completo (RC)	61.0 a	3.3 a	8.0 a
Riego Deficitario con 85% de RC	59.5 a	2.9 ab	7.3 ab
Riego Deficitario con 70% de RC	66.3 a	2.7 bc	7.2 ab
Riego Deficitario con 55% de RC	54.5 a	2.3 c	6.4 b

[±]Por columna, medias seguidas por la misma letra son estadísticamente iguales al 5% de probabilidad según prueba Tukey.

Cuadro 7. Fruto seco de primera, rendimiento ($\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$) y productividad del agua de riego (PAR, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$) en el segundo año de evaluación.

Tratamiento de Riego	Fruto seco primera (%)	Rendimiento total ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	PAR ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$)
Riego Completo (RC)	69.9 a	2.5 a	4.4 ab
Riego Deficitario con 85% de RC	70.9 a	2.1 b	4.1 abc
Riego Deficitario con 70% de RC	71.2 a	1.8 bc	4.0 bc
Riego Deficitario con 55% de RC	70.7 a	1.5 c	3.7 c

[‡]Por columna, medias seguidas por la misma letra son estadísticamente iguales al 5% de probabilidad según prueba Tukey.

Cuadro 8. Fruto seco de primera, rendimiento ($\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$) y productividad del agua de riego (PAR, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$) en el tercer año de evaluación.

Tratamiento de Riego	Fruto seco primera (%)	Rendimiento total ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	PAR ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$)
Riego Completo (RC)	52.8 bc	2.6 a	4.9 b
Riego Deficitario con 85% de RC	57.9 ab	2.1 b	4.4 b
Riego Deficitario con 70% de RC	57.9 ab	2.7 a	6.3 a
Riego Deficitario con 55% de RC	47.3 c	2.0 b	5.4 ab

[‡]Por columna, medias seguidas por la misma letra son estadísticamente iguales al 5% de probabilidad según prueba Tukey.

QUE PASA CON LA NUTRICIÓN DE LAS PLANTAS DE CHILE AL REDUCIR EL RIEGO.

En el Riego Parcial de la Raíz. Este tipo de riego reducido no afecto la concentración de macronutrientes en las hojas de chile Mirasol comparado con los resultados obtenidos para el riego completo. Los valores promedio de N, P, K, Ca y Mg (en %) en las hojas de plantas bajo el riego parcial de la raíz fueron: 4.3, 0.24, 3.1, 2.9 y 1.12; respectivamente. Mientras que en las hojas de plantas con riego completo los promedios de macroelementos fueron: 4.1, 0.24, 3.2, 3.0 y 1.18 %; respectivamente. Las concentraciones de N, P y K fueron menores, mientras que las de Ca y Mg fueron ligeramente mayores que las reportadas por Valdez *et al.* (2005) para chile cv. Mirasol. Pero al comparar las concentraciones obtenidas en éste estudio con lo publicado por Piggott (1986) para chile “Bell”, se observo que las concentraciones de N, K, Ca y Mg se ubicaron en los rangos reportados por éste autor, mientras que la concentración de P fue ligeramente menor.

En el Riego Deficitario. Con excepción del K y Mg, los macronutrientes N, P y Mg mostraron diferencias en sus concentraciones entre tratamientos de riego deficitario y completo. Los valores promedio de N, P, K, Ca y Mg (en %) en las hojas de plantas de chile se muestran a continuación. En riego completo las concentraciones (%) fueron: 4.1, 0.22, 3.1, 2.8 y 1.12; respectivamente. En riego deficitario con 85 % de RC fueron: 4.4, 0.25, 3.0, 2.4 y 1.03 %; respectivamente. En riego deficitario con 70 %

de RC fueron: 4.3, 0.28, 3.1, 2.6 y 1.09 %; respectivamente. Finalmente en riego deficitario con 55 % de RC fueron: 3.8, 0.20, 3.2, 2.8 y 1.11 %; respectivamente. No se logró establecer un patrón general para la respuesta entre los tratamientos de riego evaluados. Al comparar las concentraciones de los macronutrientes con los reportados por Valdez *et al.* (2005) para chile mirasol y Piggott (1986) para chile "Bell", se encontró un comportamiento similar al descrito anteriormente para el riego parcial de la raíz.

EN CONCLUSION

El riego parcial de la raíz logró un ahorro en el volumen del agua aplicada de un poco más del 30 por ciento, sin afectar la calidad del chile seco, pues no redujo el porcentaje de frutos de primera. Además el rendimiento mostró pérdidas ligeras en el volumen de chile producido. Esto fue muy importante ya que se evidencio que es posible reducir el riego sin afectar de manera importante la calidad y el rendimiento de chile cv. 'Mirasol', incrementando la productividad del agua de riego. Por otro lado, la nutrición de la planta no resultó afectada ya que la concentración de macronutrientes en las hojas de chile Mirasol fue similar que en el riego completo. Ésta técnica de riego puede ser una alternativa sustentable para ahorrar agua del subsuelo en la producción de chile seco en la región productora y otros agro-sistemas similares, pero tiene el inconveniente que duplica el costo de la cintilla de riego.

Los tratamientos de riego deficitario alcanzaron un ahorro del volumen de agua del 10, 20 y 30 % cuando se aplicó el 85, 70 y 55 % del riego completo; respectivamente. En el período de evaluación se logró establecer que en general la reducción del volumen de agua de riego no afectó significativamente la calidad de la fruta cosechada. Pero podría tener un efecto negativo sobre el rendimiento total de fruto seco cuando la precipitación ocurrida durante la estación de crecimiento sea de poca magnitud (~140 mm).

Las plantas que recibieron la menor cantidad de agua de riego se auto regularon y alcanzaron rendimientos similares a los de tratamientos de riego deficitario con menor déficit hídrico. Los mecanismos de regulación fueron más efectivos en condiciones de precipitación más benignas (~260 mm), por lo que el riego deficitario con la aplicación del 70 por ciento de riego completo logró rendimientos similares a los del tratamiento de riego completo, mejorando la productividad del agua de riego.

Aun cuando las concentraciones de macronutrientes fueron ligeramente afectadas por el riego deficitario sus magnitudes se conservaron en rangos aceptables de acuerdo con estándares recomendados en publicaciones técnicas. El riego deficitario aplicando el 70 por ciento del riego completo es recomendado para la zona productora y áreas similares, además de que el costo n de la cintilla es el mismo que en el riego estándar.

LITERATURA CITADA

- Behboudian M.H., Mills T.M. 1997. Deficit irrigation in deciduous orchards. *Horticultural Reviews* 21: 105-131.
- 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 (COMISION NACIONAL DEL AGUA). 2008. Estadísticas del Agua en México 2008. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (ed.). México, D.F. 233 p.
- Davies, W.J., S. Wilkinson, y B. Loveys. 2002. Stomatal control by chemical signaling and the exploitation of the mechanism to increase water use efficiency in agriculture. *New Phytol.* 153: 449-460.
- De Pascale S, Ruggiero C., Barbieri G., Maggio A. 2003. Physiological responses of pepper to salinity and drought. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 128:48-54
- Delfine S, Tognetti R., Loreto F., Alvino A. (2002) Physiological and growth responses to water stress in field-grown bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *J. Hort. Sci. & Biotech.* 77:697-704.
- Dorji, K., Behboudian M.H., Zegbe J.A.D.. 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 G.G., Rumayor R.A.F., Serna P.A., Salinas G.H., Bustamante W.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 No. 10. 174 p.
- Kang, S., Liang Z., Hu W., Zhang 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.
- Katerji N, Mastrorilli M., Hamdy A. 1993. Effects of water stress at different growth stages on pepper yield. *Acta Hort.* 335:165-171.
- 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.
- 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.
- Piggott T.J. 1986. Vegetable crops. *In: Reuter D.J., y J.B. Robinson (Eds.). Plant Analysis: An Interpretation manual.* Inkata Press. Sydney, Australia. pp. 148-187.
- Tang L.S., Li Y., Zhang J. 2005. Physiological and yield responses of cotton under partial rootzone drying. *Field Crops Research.* 94: 214-223.
- Valdez C.R.D., Magallanes Q.R., Rubio D.S., García H.J.L., Murillo A.B., Troyo, D.E., Blanco M.F. 2005. Normas nutrimentales NDC para Chile (*Capsicum annuum* L.) tipo 'mirasol' seco. pp. 150 – 157. *In: Second World Pepper Convention.* Zacatecas, México. 14 – 16 de agosto 2005.
- 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 RoseTM' apple grown under partial rootzone drying. *HortScience* 43: 952-954.

AGRADECIMIENTOS

Al C. Miguel Juárez Aguilar, quien diligentemente dirigió las actividades de invernadero y campo. Además de ser muy útil en las tareas de cosecha, selección por calidad de fruto y toma de información en campo.

REVISIÓN TÉCNICA Y EDICIÓN

Miguel Ángel Martínez Gamiño
Campo Experimental San Luis-INIFAP
Miguel Servin Palestina
Campo Experimental Zacatecas-INIFAP

Código INIFAP
MX-0-310205-11-02-11-09-76

Grupo Colegiado del CEZAC

Presidente: Dr. Jaime Mena Covarrubias
Secretario: Dr. Francisco G. Echavarría Cháirez
Comisión Editorial y Vocal: Dr. Manuel de J. Flores Nájera
Vocal: Dr. Guillermo Medina García
Vocal: Dr. Luis Roberto Reveles Torres
Vocal: Ing. Manuel Reveles Hernández
Vocal: M.C. Mayra Denise Herrera

La presente publicación se terminó de imprimir en el mes de Diciembre de 2016 en “Paus” Impresiones, Calle Real del Calvario # 125, Col. Real de Calera. C. P. 98500, Calera de V. R., Zacatecas, México.
Tel. (478) 98 5 22 13

Su tiraje constó de 500 ejemplares

DIRECTORIO

CAMPO EXPERIMENTAL ZACATECAS

Dr. Francisco G. Echavarría Cháire Director de Coord. y Vinculación

PERSONAL INVESTIGADOR

Dr.	Guillermo Medina García	Agrometeorología y Modelaje
MC.	Nadiezhdha Y. Ramírez Cabral*	Agrometeorología y Modelaje
Dr.	Manuel de Jesús Flores Nájera	Carne de Rumiantes
Dr.	Alfonso Serna Pérez	Fertilidad de suelos y nutrición vegetal
Ing.	José Ángel Cid Ríos*	Fríjol y Garbanzo
MC	Juan José Figueroa González	Fríjol y Garbanzo
MC.	Mayra Denise Herrera	Fríjol y Garbanzo
Dr.	Jorge A. Zegbe Domínguez	Frutales
MC	Valentín Melero Meraz	Frutales
Ing.	Manuel Reveles Hernández	Hortalizas
MC.	Miguel Servin Palestina	Ingeniería de Riego
Dra.	Raquel Cruz Bravo	Inocuidad de Alimentos
MC	Enrique Medina Martínez	Maíz
MC.	Francisco A. Rubio Aguirre	Pastizales y Cultivos Forrajeros
Dr.	Ramón Gutiérrez Luna	Pastizales y Cultivos Forrajeros
MC.	Ricardo A. Sánchez Gutiérrez	Pastizales y Cultivos Forrajeros
Dr.	Luis Roberto Reveles Torres	Recursos Genéticos: Forestales, Agrícolas, Pecuarios y Microbianos
Dr.	Jaime Mena Covarrubias	Sanidad Forestal y Agrícola
Dr.	Rodolfo Velásquez Valle	Sanidad Forestal y Agrícola
MC.	Blanca I. Sánchez Toledano*	Socioeconomía

*Becarios

WWW.INIFAP.GOB.MX

SAGARPA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA,
GANADERÍA, DESARROLLO RURAL,
PESCA Y ALIMENTACIÓN



inifap
Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias