

SISTEMAS DE MANEJO PARA LA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE DE CHILE SECO cv. 'MIRASOL'

MANAGEMENT SYSTEMS FOR SUSTAINABLE PRODUCTION OF DRY PEPPER cv. 'MIRASOL'

Alfonso Serna Pérez*, Jorge A. Zegbe, Jaime
Mena Covarrubias y Salvador Rubio Díaz

Campo Experimental Zacatecas, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Apartado Postal 18. 98500, Calera de V. R., Zacatecas, México. Tel. (52) 478-9-85-01-98, Fax: (52) 478 9-85-03-63.

* Autor para correspondencia (aserna@inifapzac.sagarpa.gob.mx)

RESUMEN

La producción de chile (*Capsicum annuum* L.) para secado requiere de grandes cantidades de agua y de un uso itinerante e intensivo del suelo. En consecuencia, nuevas tierras son abiertas al cultivo para resolver problemas de baja productividad, contaminación del suelo y enfermedades de la planta. La sustentabilidad del cultivo debe orientarse hacia nuevos sistemas de manejo y estrategias alternativas en el manejo del riego. En este trabajo se probaron tres sistemas de manejo del cultivo y dos formas de aplicación del riego sobre el rendimiento, calidad, productividad del agua e incidencia de enfermedades de chile cv. 'Mirasol' para secado. Los sistemas resultaron de la combinación de prácticas de incorporación de abono verde al suelo y la aplicación de insumos inorgánicos y orgánicos para la fertilización y control de organismos dañinos. Los sistemas evaluados fueron: convencional, intermedio y orgánico. Las formas de riego fueron: riego completo y riego parcial de la raíz (RPR). El menor rendimiento se obtuvo en el sistema orgánico, pero éste produjo mayor proporción de frutos de primera y segunda y menos frutos manchados. La menor incidencia de la enfermedad llamada "secadera" (*Phytophthora capsici*) se presentó en el sistema intermedio, mientras que la más baja productividad del agua se observó en el sistema orgánico. El RPR produjo menos frutos manchados, incrementó la productividad del agua y disminuyó la incidencia del amarillamiento del chile; pero redujo el rendimiento. Además, el RPR redujo el volumen de agua de riego aplicado en 25 %.

Palabras clave: *Capsicum annuum*, producción orgánica, ahorro de agua, productividad del agua.

SUMMARY

The production of dry pepper (*Capsicum annuum* L.) is based on the application of large amounts of water and both itinerant and intensive land use. Therefore, new cropland areas are being used to

solve problems associated with low soil productivity, soil contamination and plant disease. The sustainability of this crop must be focused toward new crop management systems and efficient irrigation management strategies. In this study we measured the effect of three crop management systems and two irrigation methods on fruit yield, fruit quality, water productivity and disease incidences of dry pepper cv. 'Mirasol'. The crop systems resulted from the combination of green manure incorporation into the soil, and inorganic or organic amendment applications for fertilizing and pest control. The crop systems were: conventional, intermediate and organic. The levels of irrigation methods were: full irrigation and partial rootzone drying (PRD). The lowest fruit yield was obtained in the organic crop system, but this also produced a higher proportion of the best two fruit quality categories and less proportion of blemished fruit. The lowest pepper wilt (*Phytophthora capsici*) incidence was observed in the intermediate crop system, whilst the lowest water productivity was observed in the organic crop system. The PRD produced less percentage of blemished fruit, increased water productivity and reduced the pepper wilt incidence, but it reduced fruit yield; in addition, the PRD reduced the irrigation water by 25%.

Index words: *Capsicum annuum*, organic production, water saving, water productivity.

INTRODUCCIÓN

En el Estado de Zacatecas, México se cultivaron 33 mil hectáreas con chile (*Capsicum annuum* L.) para secado, que implicó una ocupación de mano de obra de cinco millones de jornales y la generación de casi un billón de pesos en 2006 (SIAP, 2007). La explotación extensiva del cultivo ha ocasionado un impacto negativo en suelo y agua almacenada en el subsuelo, con el consecuente agotamiento paulatino del suelo que ha obligado a abrir nuevas tierras para resolver problemas de productividad, contaminación del suelo y enfermedades de la planta (Rincón *et al.*, 2004). Por tanto, la sustentabilidad del cultivo debe basarse en nuevos sistemas de manejo que mejoren la productividad del suelo y que incluyan alternativas para mejorar la eficiencia en la aplicación del agua de riego.

La rotación de cultivos y la incorporación de abono verde al suelo son prácticas fundamentales para un sistema sustentable de producción porque tienen un impacto positivo en las propiedades físico-químicas del suelo y contenido de materia orgánica (Harrison *et al.*, 2006). Tales prácticas culturales también reducen la erosión eólica e hídrica del suelo e incrementan la capacidad de almacenamiento del agua en éste (Al-Kaisi, 2001), y ayudan al control de organismos dañinos para el cultivo interrumpiendo sus ciclos biológicos (Reznicek *et al.*, 1998; Kirkpatrick y Thomas, 2007). Sin embargo, poca o nula información existe sobre la implementación de dichas prácticas para solucionar los problemas técnicos indicados en la producción de chile seco.

En horticultura la aplicación del agua de riego es esencial para asegurar rendimiento y calidad de fruto

económicamente aceptables (De Pascale *et al.*, 2003), además de que la aplicación del agua de riego en cantidad y frecuencia adecuadas puede solucionar parcialmente el ataque de *Phytophthora* (Jones *et al.*, 2000). El cultivo del chile es altamente sensitivo al déficit hídrico (Delfine *et al.*, 2002; De Pascale *et al.*, 2003), en particular durante el cuajado de frutos (Katerji *et al.*, 1993). La técnica del riego parcial de la raíz (Dorji *et al.*, 2005), como alternativa de riego podría promover el ahorro de agua y mitigar daños por *Phytophthora* en este cultivo. Por ello, el propósito de este estudio fue probar tres sistemas de manejo y dos formas de aplicar el riego sobre el rendimiento, calidad, productividad del agua e incidencia de enfermedades como secadera (*Phytophthora capsici* y otros hongos del suelo) y amarillamiento (agentes causales aún no determinados) de chile 'Mirasol' para secado. Se postula que la productividad de los suelos cultivados con chile podría restablecerse con alguno de los sistemas de manejo, porque además de la aplicación eficiente del agua de riego incluyen la rotación de cultivos e incorporación de abonos verdes al suelo, que en conjunto promueven el reestablecimiento de la fertilidad del suelo (Brady y Weil, 2000).

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en Calera, Zacatecas (22° 54' LN, 102° 39' LO, a 2197 msnm), en 2006. El chile cv. 'Mirasol' se trasplantó en una superficie de 1862 m² el 21 de abril, en surcos de 76 cm, a una hilera y densidad de 46 860 plantas ha⁻¹. El experimento consistió en tres sistemas de manejo del cultivo (SMC), que resultaron de la combinación de incorporar abono verde (AV) al suelo (avena en invierno y maíz en verano, rotando un año maíz y al siguiente chile en el verano), insumos inorgánicos (II) e insumos orgánicos (IO) para la fertilización y control de organismos dañinos. Los niveles de SMC fueron: convencional (C) sin AV y con II, intermedio (I) con AV y con II, y orgánico (O) con AV e IO. En I y O la semilla fue tratada con *Trichoderma* (21.3 mg por semilla). El riego se aplicó por gravedad en dos formas: riego comercial (RC) y riego parcial de la raíz (RPR). El experimento se condujo en un diseño experimental en parcelas divididas con arreglo en bloques completos al azar y factorial en los tratamientos, repetidos cuatro veces. Los SMC constituyeron las parcelas grandes, y las formas de riego las chicas.

El contenido de humedad del suelo se determinó antes (θ_{AR} , m³ m⁻³) y después (θ_{DR}) de cada riego por reflectometría (TDR, MiniTrase Systems-Soil Moisture Equipment Corp., Santa Barbara, California, EE. UU.), con un par de sondas permanentes separadas a 10 cm de la planta para el RC, y con dos pares de sondas para RPR. Las sondas se instalaron a 40 cm de profundidad del suelo.

Los datos de precipitación pluvial (PP) y evaporación del tanque evaporímetro (Ev) se registraron diariamente en la estación agrometeorológica del Campo Experimental Zacatecas. Los contenidos volumétricos de humedad a capacidad de campo ($CC = 0.28 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) y punto de marchitez permanente ($PMP = 0.14 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) fueron determinados en laboratorio a partir de muestras alteradas del suelo del sitio de estudio. La lámina de riego (Lr) para cada SMC se estimó a partir de la siguiente ecuación: $Lr = [(CC - \theta_{AR}) \times 40 \text{ cm}]$ (Brady y Weil, 2000). En RC se aplicó el total de Lr, y en RPR se regó de manera alterna (un surco sí y otro no), de manera que cada hilera de plantas sólo recibió la mitad de Lr, y el próximo riego se aplicaba en el surco seco para cumplir con la condición definida para la técnica del RPR (Dorji *et al.*, 2005). La productividad del agua (PA, kg mm⁻¹) se calculó para cada SMC y forma de riego con la relación: $PA = \text{rendimiento (kg ha}^{-1}) / \text{lámina de riego total aplicada durante el ciclo del cultivo (mm ha}^{-1})$.

Después de la cosecha, la cual ocurrió durante la primera semana de diciembre de 2006, se registró el rendimiento por tratamiento y por unidad de superficie. La calidad del fruto se evaluó de acuerdo con cuatro categorías comerciales: primera (P), segunda (S), tercera (T) y manchado o paloma (P). La incidencia de secadera y amarillamiento por planta en cada tratamiento se cuantificó, en términos de porcentaje (0 a 100 %).

La información se analizó con un modelo lineal de parcelas divididas con arreglo en bloques completos al azar y factorial en tratamientos con el procedimiento GLM del sistema de análisis estadístico (SAS Institute, 2002-2003). Los datos expresados en porcentaje fueron transformados a la función arcoseno y se presentan después de su retransformación. Las medias de tratamiento por variable de respuesta se compararon mediante la diferencia mínima significativa (DMS) de Fisher ($P \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

No se detectó interacción entre los sistemas de manejo y las formas de riego para las variables registradas. Entre los SMC hubo una reducción ($P \leq 0.05$) en el rendimiento de fruto en el sistema orgánico en comparación con el convencional y el intermedio (Cuadro 1). Sin embargo, en el sistema orgánico la proporción de frutos de primera (P) y de segunda (S) y la de frutos manchados (M) fueron superior e inferior, respectivamente, a la observada en los otros sistemas. La productividad del agua fue mayor ($P \leq 0.05$) en los sistemas convencional e intermedio que en el orgánico.

Cuadro 1. Influencia del sistema de manejo del cultivo (SMC) y forma de riego en chile ‘Mirasol’ en la distribución porcentual del peso de frutos secos, rendimiento total y productividad del agua.

Distribución del peso de fruto seco					Rendimiento total (t ha ⁻¹)	Productividad del agua (kg mm ⁻¹)
Fuentes de variación	($\%$)					
	P	S	T	M		
SMC						
Convencional	43.0 b	09.0 b	24.8 a	23.3 a	4.3 a	11.3 a
Intermedio	42.3 b	12.0 b	23.9 a	20.8 a	4.4 a	12.0 a
Orgánico	53.2 a	20.3 a	20.3 a	6.2 b	3.0 b	8.9 b
Forma de riego						
Riego completo	44.0 a	14.6 a	22.4 a	18.9 a	4.3 a	10.3 b
Riego parcial de la raíz	48.3 a	13.6 a	23.6 a	14.9 b	3.5 b	11.2 a

Letras diferentes en una columna de cada factor indican diferencias significativas (DMS, 0.05). Los valores expresados en porcentaje fueron transformados a arcoseno antes de su análisis. P, S, T y M = Frutos de primera, segunda, tercera y manchados, respectivamente.

En las formas de riego, el riego parcial produjo menos frutos manchados pero redujo el rendimiento comparado con el riego completo (Cuadro 1). Por otro lado la productividad del agua (PA) fue mayor ($P \leq 0.05$) en el riego parcial que en el completo. Lo anterior se explica por el hecho de que con el riego parcial, a pesar de inducir un rendimiento menor, se logró un ahorro en el volumen de agua aplicada.

La incidencia relativa de amarillamiento fue igual en los tres sistemas de manejo. Los porcentajes fueron 13.7, 11.2 y 11.6 % para el sistema convencional, intermedio y orgánico, respectivamente. En contraste, la incidencia de secadera fue menor ($P \leq 0.05$) en el manejo intermedio que en los otros dos sistemas; los porcentajes fueron: 8.4, 2.0 y 5.5 %, en el mismo orden anterior. En cuanto a las formas de riego, el riego parcial redujo la incidencia de amarillamiento en comparación con el riego completo; los valores fueron 10.2 % en riego parcial y 14.3 % para el riego completo. Lo anterior sugiere que esta enfermedad podría estar relacionada con el volumen de agua aplicado al suelo. La incidencia de secadera fue igual en las dos formas de riego, con promedios de 4.6 y 5.4 % para riego completo y parcial, respectivamente.

El uso de la práctica de incorporar abono verde al suelo y la rotación de cultivos en los sistemas intermedio y orgánico, que además incluyó la aplicación de insumos orgánicos en el orgánico, tuvo como finalidad mejorar las propiedades físico-químicas y el control de los organismos dañinos del suelo (Reznicek *et al.*, 1998; Brady y Weil, 2000; Harrison *et al.*, 2006; Kirkpatrick y Thomas, 2007). Los resultados sugieren que esto pudo haber ocurrido en el presente estudio, ya que hubo mayor porcentaje de frutos de primera y segunda con el sistema orgánico, así como menor incidencia de secadera en el intermedio.

La reducción del rendimiento e incremento en la proporción de frutos de primera y segunda en el sistema orgánico, tal vez se debió a que se redujo la competencia

entre frutos por fotoasimilados y que eso haya favorecido el incremento de frutos de mayor tamaño y con mayor valor comercial, como reportaron Dorji *et al.* (2005) en Chile. Como los valores de la productividad del agua se estimaron a partir del rendimiento total, dicha productividad fue menor en el sistema orgánico que en los otros sistemas. La incorporación de abono verde (AV) al suelo permitió mejor control de la incidencia de secadera del Chile, sobre todo en el sistema intermedio; por tanto, la incorporación de AV conviene como alternativa para romper el ciclo biológico del patógeno, como se ha demostrado en otros cultivos (Kirkpatrick y Thomas, 2007).

Se ha establecido que en función de las condiciones ambientales, el cultivo de Chile requiere un volumen de agua de 5560 m³ ha⁻¹ de riego por goteo para obtener un rendimiento comercial (Khah *et al.*, 2007). En este estudio, el riego aplicado por gravedad y en condiciones semiáridas fue de 3101 ± 170 m³ ha⁻¹ y 4161 ± 246 en riego parcial y completo, respectivamente. Esto implicó una reducción de aproximadamente 1400 m³ ha⁻¹ de agua de riego en riego completo, en relación con el volumen estimado por Khah *et al.* (2007). Por su parte, el riego parcial redujo en 25 % el volumen de agua de riego en comparación con el riego completo. Varios autores han reportado que la aplicación de un volumen menor al requerido por la planta reduce el rendimiento de fruta (Katerji *et al.*, 1993; Dorji *et al.*, 2005) e induce frutos de menor calidad (Khah *et al.*, 2007); pero en el presente estudio, el riego parcial si bien abatió el rendimiento, también aumentó ($P \leq 0.05$) la proporción de fruta de mayor calidad, incrementó ($P \leq 0.05$) la productividad del agua y redujo ($P \leq 0.05$) la incidencia del “amarillamiento del Chile”. Por tanto, si el objetivo es conservar los acuíferos de esta zona productora y reducir la incidencia de enfermedades, el riego parcial sería recomendable, al compensar la pérdida de rendimiento con el menor costo para el control de ésta y otras enfermedades, así como menores costos de extracción, derecho de uso y otros costos del agua.

CONCLUSIONES

El sistema de manejo orgánico redujo el rendimiento en comparación con los sistemas convencional e intermedio. Pero el sistema orgánico también produjo mayor proporción de frutos de primera y segunda, y menor proporción de frutos manchados. El riego parcial de la raíz redujo el rendimiento y la proporción de frutos manchados, pero incrementó 4.3 % la proporción de frutos de mayor valor comercial. Los sistemas de manejo de cultivo intermedio y convencional elevaron hasta en 25 % la productividad del agua de riego comparados con el orgánico. De igual forma, el riego parcial de la raíz incrementó en 8 % la productividad del agua de riego en comparación con el riego completo. El uso combinado de la incorporación de abonos verdes al suelo y el riego parcial permite lograr rendimiento de frutos de mayor calidad y reducir en 25 % el volumen de agua de riego aplicado. El sistema de manejo de cultivo intermedio redujo en 3.5 % la incidencia de secadera del chile, mientras que el riego parcial de la raíz redujo el daño por amarillamiento del chile.

AGRADECIMIENTOS

A los Srs. Miguel Juárez Aguilar y Manuel González Solís por su invaluable ayuda, y a la Fundación Produce Zacatecas A.C., por el financiamiento parcial a través del proyecto 097/FPZ/2005.

BIBLIOGRAFÍA

- Al-Kaisi M (2001)** Impact of tillage and crop rotation systems of soil carbon sequestration. Iowa State University. University Extension. Paper PM 1871. 6 p.
- Brady N C, R R Weil (2000)** Elements of the Nature and Properties of Soil. Prentice-Hall, Inc. New Jersey. 559 p.
- Delfine S, R Tognetti, F Loreto, A Alvino (2002)** Physiological and growth responses to water stress in field-grown bell pepper (*Capsicum annuum* L.). J. Hort. Sci. Biotech. 77:697-704.
- De Pascale S, C Ruggiero, G Barbieri, A Maggio (2003)** Physiological responses of pepper to salinity and drought. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 128:48-54.
- Dorji K, M H Behboudian, J A Zegbe D (2005)** Water relations, growth, yield, and fruit quality of hot pepper under deficit irrigation and partial root zone drying. Sci. Hort. 104:137-149.
- Harrison H F, J A Thies, R L Fery, J P Smith (2006)** Evaluation of cowpea genotypes for use as a cover crop. HortScience 41:1145-1148.
- Jones T, R Bessin, J Strang, B Rowell, D Spalding (2000)** Kentucky pepper integrated crop management. Cooperative Extension Service. University of Kentucky. College of Agriculture. Paper IMP-13. 39 p.
- Katerji N, M Mastrorilli, A Hamdy (1993)** Effects of water stress at different growth stages on pepper yield. Acta Hort. 335:165-171.
- Khah E M, K Koukoulfikis, A G Mavromatis, D Chachalis, C K Goulas (2007)** The effect of different techniques on plant performance and seed quality in relation to fruit maturation and storage of different genotypes of pepper (*Capsicum annuum* var. *annuum* L.). J. Food Agric. Environ. 5:159-163.
- Kirkpatrick T L, A C Thomas (2007)** Crop rotation for management of nematodes in cotton and soybean. University of Arkansas. Division of Agriculture. Cooperative Extension Service. Paper FSA7550. 6 p.
- Reznicek E, J Jost, R Janke (1998)** Crop rotation. Kansas Rural Center. Sustainable Agriculture Management Guides. Whiting, Kansas. Paper MG2A.1, 7 p.
- Rincón V, F G Echavarría, A F Rumayor, J Mena, A G Bravo, E Acosta, J L Gallo, H Salinas (2004)** Cadenas de Sistemas Agroalimentarios de Chile seco, Durazno y Frijol en el Estado de Zacatecas: Una Aplicación de la Metodología ISNAR. SAGARPA-INIFAP-CIRNOC-Campo Experimental Zacatecas. Publicación Especial No. 14. 157 p.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP (2007)**. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. <http://www.siap.gob.mx/> (17 de Octubre de 2007).
- Statistical Analysis System (2002-2003)** SAS software version 9.1, SAS Institute, Cary, NC, USA.