

## Respuesta del chile mirasol a la labranza reducida, enmiendas al suelo y acolchado plástico\*

### Response of Mirasol chili pepper to reduced tillage, soil amendments and plastic mulch

Mario Domingo Amador-Ramírez<sup>1§</sup>, Rodolfo Velásquez-Valle<sup>1</sup>, Blanca Isabel Sánchez-Toledano<sup>1</sup> y Efraín Acosta-Díaz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Zacatecas, INIFAP. Carretera Zacatecas-Fresnillo, km 24.5. Calera de Víctor Rosales, Zacatecas. C. P. 98500. C. P. 18. (fitovalle58@yahoo.com.mx); (bsanchez@zacatecas.inifap.gob.mx). <sup>2</sup>Campo Experimental General Terán-INIFAP. Carretera Montemorelos-China, km 31. General Terán, Nuevo León. C. P. 67400. (acostaefrain@yahoo.com.mx). <sup>§</sup>Autor para correspondencia: castor\_aztlan@hotmail.com.

#### Resumen

El interés por la sostenibilidad de algunos sistemas de chile seco (*Capsicum annuum* L.) proviene de la producción intensiva a la que es sometida este cultivo, lo cual es causada por el uso excesivo de actividades agrícolas. El objetivo de este estudio fue: 1) evaluar los efectos de la labranza reducida, incorporación de abono verde, incorporación de abono seco y la asociación riego por goteo + acolchado plástico en el crecimiento y rendimiento de chile seco, al comparar estos efectos con aquellos del sistema de producción convencional; y 2) estimar la economía de los sistemas de manejo arriba mencionados. Las plantas de chile pararon su crecimiento en términos de altura alrededor de las 960 y 989 UC, mientras que en términos de diámetro de tallo, las plantas de chile dejaron de crecer entre las 972 y 980 UC. El rendimiento de chile de primera calidad con LR fue constante entre años. La respuesta del rendimiento a los otros sistemas de manejo, diferentes al LR, fue inconsistente entre años, debido a la susceptibilidad del cultivo a factores externos, tales como enfermedades y factores ambientales. La relación beneficio/costo a través de años mostrado por el sistema LR fue constante, en comparación a ACOL e IAS que mostraron pérdidas y ganancias.

**Palabras clave:** análisis económico, crecimiento vegetativo, regresión no lineal, unidades calor.

#### Abstract

The interest in the sustainability of some systems of dried chili pepper (*Capsicum annuum* L.) comes from the intensive production to which this crop is subjected to, caused by the excessive use of agricultural activities. The aim of this study was to: 1) evaluate the effects of reduced tillage, green manure incorporation, incorporation of dry manure and the association drip irrigation + plastic mulch, on the growth and yield of dried chili peppers, comparing these effects with those of the conventional production system; and 2) estimate the economic benefits of the management systems mentioned above. The chili pepper plants stopped their growth in terms of height around 960 and 989 HU, while in terms of stem diameter the chili pepper plants stopped growing between 972 and 980 HU. The yield of premium chili peppers with LR was constant between years. The yield response to management systems different to the LR was inconsistent between years due to the susceptibility of the crop to external factors such as environmental factors and diseases. The benefit/cost relationship through the years shown by the LR system was constant, compared to ACOL and IAS, which showed losses and gains.

**Key words:** economic analysis, heat units, nonlinear regression, vegetative growth.

\* Recibido: mayo de 2012  
Aceptado: febrero de 2013

## Introducción

El chile (*Capsicum annuum* L.) es un importante cultivo hortícola en México al cosechar arriba de 108 500 hectáreas en el 2010 (SIAP, 2010), colocándolo mundialmente en el onceavo lugar por sus 50 988 toneladas métricas de producción (FAOSTAT, 2009). El cultivo de chile es plantado bajo diferentes condiciones de manejo como el riego por goteo (Bravo *et al.*, 2002), acolchado plástico (Burciaga *et al.*, 2004) o con reducción en la cantidad de agua de riego (Serna-Pérez *et al.*, 2008), aunque mucha de la superficie de chile es aún manejada convencionalmente (Galindo *et al.*, 2002), con los consiguientes problemas de baja eficiencia por los suministros de altos volúmenes de agua (Mojarro, 2004) y por la aplicación desde tres hasta siete escardas a través de la temporada de crecimiento (Amador, 1991).

La explotación intensiva del cultivo de chile reduce la sostenibilidad del sistema debido a una constante degradación del recurso suelo y un uso ineficiente del agua de riego. La interacción, altos costos de producción y producción intensiva del sistema de producción de chile en Zacatecas, requiere del uso de un sistema de producción competitivo y a la vez sustentable. Para estos casos, la labranza de conservación es un sistema de manejo que ofrece sostenibilidad al cultivo de chile al reducir la frecuencia de operaciones de labranza y usar implementos de labranza no-invertidores (Lyon *et al.*, 2004), en donde los rendimientos de cultivos son similares o ligeramente mejores que con labranza convencional (Land and Water Conservation, 1978).

En México, las superficies plantadas con chile son usualmente manejadas con labranza convencional y por pequeños productores en alta proporción en diferentes ambientes. Desafortunadamente, existe una limitada documentación sobre el efecto de los sistemas de producción en chile dentro de años y a través del tiempo en un ambiente semiárido. Tal información ayudaría a incrementar la productividad del cultivo al reducir los costos de producción. Los objetivos de este estudio son: 1) evaluar los efectos de la labranza reducida, incorporación de abono verde, incorporación de rastrojo de maíz y el riego por goteo+acolchado plástico en el crecimiento y rendimiento de chile seco, al comparar estos efectos con los efectos del sistema convencional de producción; y 2) estimar el beneficio económico de los sistemas de manejo arriba mencionados.

## Introduction

Chili pepper (*Capsicum annuum* L.) is an important vegetable crop in Mexico, cultivated in over 108 500 hectares in 2010 (SIAP, 2010), placing it at the eleventh place globally with a production of 50 988 metric tons (FAOSTAT, 2009). Chili peppers are planted under various management conditions such as drip irrigation (Bravo *et al.*, 2002), plastic mulch (Burciaga *et al.*, 2004) or with reduction in the amount of irrigation water (Serna-Pérez *et al.*, 2008), although much of the chili pepper surface is still managed conventionally (Galindo *et al.*, 2002), with the attendant problems of low efficiency in terms of the high-volume of water used (Mojarro, 2004) and the performance of three to seven weedings through the growing season (Amador, 1991).

The intensive exploitation of the chili pepper crop reduces the sustainability of the system due to the constant degradation of the soil resource and the inefficient use of irrigation water. The interaction between high production costs and intensive production of the chili pepper production system in Zacatecas requires the use of a competitive yet sustainable production system. For these cases, conservation tillage is a management system that offers sustainability to chili pepper cultivation by reducing the frequency of tillage operations and the use of no-till implements (Lyon *et al.*, 2004); the crop yields are similar or slightly better than with conventional tillage (Land and Water Conservation, 1978).

In Mexico, the surfaces planted with chili pepper are usually managed with conventional tillage, mostly by small producers in different environments. Unfortunately, there is limited documentation about the effect of production systems in chili pepper within single years and over time in a semi-arid environment. Such information would help to increase crop productivity by reducing production costs. The objectives of this study are: 1) to evaluate the effects of reduced tillage, green manure incorporation, incorporation of corn stover and drip irrigation + plastic mulch on the growth and yield of dried chili peppers by comparing these effects with the effects of the conventional production system; and 2) to estimate the economic benefit of the management systems mentioned above.

## Materiales y métodos

### Sitio experimental y Descripción de tratamientos

Observaciones de campo se llevaron a cabo durante 2007 a 2010 en plantaciones de chile en el Campo Experimental Zacatecas cerca de Calera de Víctor Rosales, en la región central del estado de Zacatecas (22° 54' latitud norte, 102° 39' longitud oeste, 2 197 msnm). Se utilizaron plántulas de chile de 52 y 53 días de emergidas de la variedad Mirasol Zacatecas, las cuales fueron trasplantadas a mano en abril 19, 18, 8 y 10 en 2007, 2008, 2009 y 2010, respectivamente.

Los tratamientos fueron establecidos con base en cinco tecnologías de producción denominadas labranza reducida (LR), riego por goteo+acolchado plástico negro (ACOL), incorporación de rastrojo de maíz (IAS), incorporación de abono verde (IAV), y labranza convencional (LC). El sistema LR estuvo constituido únicamente por labranza secundaria (cultivador giratorio de púas y escardas). El sistema IAS incluyó labranza primaria (barbecho, rastreo, nivelación y surcado), incorporación de rastrojo de maíz a una dosis de 260 g m<sup>-2</sup>, labranza secundaria (cultivador giratorio de púas y escardas) y riego por gravedad. En el 2008 se implementó el sistema IAV, el cual consistió en la aplicación de las mismas actividades que el sistema IAS, solo que la incorporación fue de avena.

Este sistema consistió en sembrar avena en una dosis de 100 kg ha<sup>-1</sup> y luego cortar e incorporar al suelo la avena en una dosis de 510 g m<sup>-2</sup> de materia seca. El sistema ACOL incluyó la labranza primaria (barbecho, rastreo, nivelación y construcción de camas), cobertura del suelo con película plástica color negro, trasplante de plántulas de chile en doble hilera en camas de 1.52 m de ancho, riego por goteo y escardas entre camas. Estas cuatro tecnologías de producción de chile fueron comparados contra el sistema LC, la cual estuvo conformado por la labranza primaria (barbecho, rastreo, nivelación y surcado), labranza secundaria (picas manuales, escardas y deshierbes manuales), y riego por gravedad (tubería de multi compuerta).

En las parcelas con LR, IAS, IAV y LC, los fertilizantes fueron aplicados en banda e incorporados mecánicamente en dosis de 220 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno, 100 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo, y 150 kg ha<sup>-1</sup> de potasio. Las cantidades totales de fosforo y potasio más un tercio de la dosis de nitrógeno fueron

## Materials and methods

### Experimental site and description of treatments

Field observations were carried out during 2007-2010 in chili pepper plantations in the Experimental Field Zacatecas near Calera de Victor Rosales, in the central region of the state of Zacatecas (22° 54' N, 102° 39' W, 2197 masl). Mirasol Zacatecas chili pepper seedlings of 52 and 53 days after emergence were used; they were transplanted by hand on April 19, 18, 8 and 10 in 2007, 2008, 2009 and 2010, respectively.

The treatments were established based on five production technologies called reduced tillage (LR), drip irrigation + black plastic mulch (ACOL), corn stover incorporation (IAS), green manure incorporation (IAV), and conventional tillage (LC). The LR system consisted only of secondary tillage (rotary cultivator with tines and spuds). The IAS system included primary tillage (plowing, ploughing, leveling and furrowing), incorporation of corn stover at a dose of 260 g m<sup>-2</sup>, secondary tillage (rotary cultivator with tines and spuds) and gravity irrigation. The IAV system was implemented in 2008, which consisted in the performance of the same activities as the IAS system, but incorporating oat instead of corn stove.

This system consisted in sowing oats at a dose of 100 kg ha<sup>-1</sup> and then cutting and incorporating the oats to the soil at a dose of 510 gm<sup>-2</sup> of dry matter. The ACOL system included primary tillage (plowing, ploughing, leveling and construction of beds), ground cover with black colored plastic films, the transplanting of chili seedlings in a double row to beds of 1.52 m wide, drip irrigation and weeding between beds. These four chili production technologies were compared against the LC system, which consisted of primary tillage (plowing, ploughing, leveling and furrowing), secondary tillage (manual spades, hoeing and hand weeding) and gravity irrigation (multi-gate pipes).

In the plots with LR, IAS, IAV and LC, the fertilizers were applied in band and incorporated mechanically in doses of 220 kg ha<sup>-1</sup> of nitrogen, 100 kg ha<sup>-1</sup> of phosphorus, and 150 kg ha<sup>-1</sup> of potassium. The total amounts of phosphorus and potassium, plus a third of the dose of nitrogen, were applied 15 days after transplantation, while the remaining amount of nitrogen was divided in two and each fraction was applied 30

aplicados a los 15 días después del trasplante, mientras que la restante cantidad de nitrógeno fue dividida en dos y cada fracción fue aplicada a los 30 y 70 días después del trasplante. La misma dosis de fertilización fue aplicada a través de la cintilla en las parcelas con riego por goteo en el sistema ACOL.

### Tamaño de la parcela y medición de variables

El chile tipo mirasol en una densidad de 65 000 plantas por hectárea fue trasplantado en surcos espaciados a 0.76 m de 70 m de largo, mientras que el trasplante de plántulas en el sistema ACOL se realizó en camas elevadas de la misma longitud de 1.52 m de ancho. En el sistema LC, la parcela fue de 44 surcos, mientras que en los sistemas IAS y IAV, las parcelas fueron de 22 surcos de 70 m de largo. La parcela con el sistema LR estuvo constituida por 48 surcos de 50 m de largo. En la planta de chile, las variables medidas quincenalmente a través del ciclo de cultivo en los cinco sistemas de producción fueron altura de planta, diámetro de tallo y materia seca. La altura de planta expresada en centímetros desde el ras del suelo y el diámetro de tallo determinado con un vernier digital fueron medidos en 10 plantas escogidas al azar. La materia seca total expresada en gramos por planta fue estimada desde una muestra de cuatro plantas, previamente secadas en estufa a 70 °C por 24 h.

El rendimiento fue estimado a partir de 5 muestras de 8 m de largo por muestra de cada surco terciado iniciando del primer surco. Los frutos de cada muestra fueron seleccionados por inspección visual y luego contados según las calidades en primera, segunda y rezaga. Frutos mostrando un color rojo limpio sin manchas fue clasificado como fruto de primera, mientras que los frutos con un rojo pálido, o con partes rotas y/o textura rugosa fueron clasificados como de calidad segunda. Los frutos descoloridos con manchas blancas fueron clasificados como frutos de tercera calidad o rezaga. Los rendimientos de cultivo en una base por parcela fueron transformados a  $\text{kg ha}^{-1}$ .

### Análisis estadístico

Para el análisis de crecimiento de la planta de chile, las variables fueron relacionadas a unidades calor, mediante el empleo de una temperatura base de 10 °C. El tiempo termal (usado para normalizar los resultados de diferentes experimentos) fue calculado mediante la

and 70 days after transplantation. The same dose of fertilizer was applied through drip irrigation in the plots managed with the ACOL system.

### Plot size and measurement of variables

The mirasol chili was transplanted into 70 m long furrows spaced at 0.76 m with a density of 65 000 plants per hectare, while in the ACOL system the seedlings were transplanted into elevated beds of the same length and 1.52 m wide. In the LC system, the plot had 44 furrows, while in the IAS and IAV systems the plots had 22 furrows of 70 m in length. The plot with the LR system consisted of 48 furrows of 50 m in length. The variables measured biweekly in the chili plant throughout the agricultural cycle in the five production systems were plant height, stem diameter and dry matter. Plant height, expressed in centimeters from the ground level, and stem diameter, measured with a digital Vernier, were measured in 10 randomly selected plants. Total dry matter, expressed in grams per plant, was estimated from a sample of four plants previously dried in an oven at 70 °C for 24 h.

The yield was estimated from 5 samples of 8 m in length per sample from each alternating furrow, starting from the first one. The fruits of each sample were selected by visual inspection and then classified according to quality into first class, second class and laggards. The fruits that showed a clean spotless red color were classified as first class fruits, while the fruits of pale red color or with broken parts and/or rough texture were classified as second quality. The discolored fruits with white spots were classified as third quality fruits or laggards. Crop yields, on a per plot basis, were converted to  $\text{kg ha}^{-1}$ .

### Statistical analysis

For the growth analysis of the chili plants, the variables were related to heat units by using a base temperature of 10 °C. The thermal time (used to normalize the results from different experiments) was calculated by subtracting 10 from the average daily temperature. If the daily minimum temperature was lower than 10 °C, then the minimum temperature was 10 °C. Daily heat units were accumulated from the time of planting and reported as HU.

The relationships between stem diameter and heat units and between plant height and heat units were examined by nonlinear regression using PROC NLIN, resulting

sustracción de 10 a la temperatura media diaria. Si la temperatura mínima diaria fue menor a 10 °C, entonces la temperatura mínima fue 10 °C. Las unidades calor diarias fueron acumuladas desde el tiempo de plantación y reportadas como UC.

Las relaciones entre diámetro de tallo-unidades calor y altura de planta-unidades calor fueron examinadas mediante regresión no lineal usando PROC NLIN, resultando en una forma de plataforma lineal (SAS, 1999). El modelo de crecimiento de Gompertz explicó la relación entre la materia seca y las unidades calor. El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) fue calculado de acuerdo a la descripción de Vandepitte *et al.* (1995). Los valores medios de los tratamientos tecnológicos fueron comparados a través de su desviación estándar, mediante lo cual se probó la significancia de rendimientos. El retorno neto fue calculado mediante la sustracción de los costos estimados de producción al ingreso bruto estimado de cada sistema de manejo (Johnson *et al.*, 1997; Reddy y Whiting, 2000). El ingreso bruto fue estimado como los rendimientos a la cosecha de las tres calidades multiplicado por sus precios de venta. El análisis económico de los sistemas de manejo de chile seco fue hecho basado en la relación beneficio/costo, el cual es el resultado después de dividir el ingreso bruto por su correspondiente costo de producción.

## Resultados y discusión

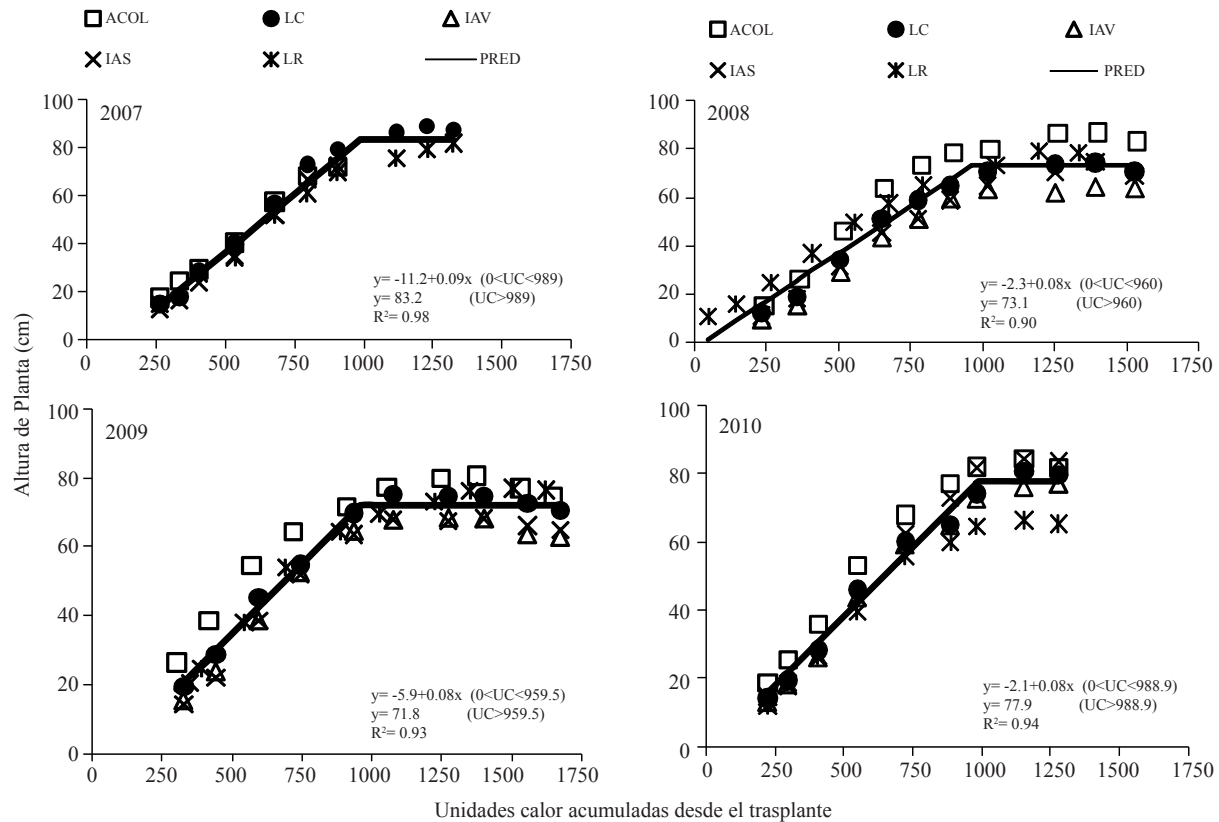
La altura de planta a través de los sistemas de manejo fue diferente entre años, aunque la respuesta dentro de años a los diferentes sistemas de manejo fue similar (Figura 1). En 2007, las plantas de chile de todos los sistemas de manejo presentaron una misma altura a las 989 UC, después de lo cual las plantas producidas con el tratamiento LC fueron más altas que aquellas producidas con LR. No hubo datos de altura de plantas de chile producidas en ACOL y IAS después de la acumulación de 989 UC, debido a la mortalidad causada por el hongo *Phytophthora capsici* en la población de plantas de chile. Plantas de chile manejadas con el sistema ACOL tendieron a ser más altas que las producidas con los otros sistemas de manejo desde 2008 a 2010, mientras que las parcelas producidas bajo el sistema IAV mostraron la más baja altura de planta al final de las temporadas de producción en 2008 y 2009.

in a linear platform (SAS, 1999). The Gompertz growth model explained the relationship between dry matter and heat units. The coefficient of determination ( $R^2$ ) was calculated according to the description of Vandepitte *et al.* 1995. The average values of the technological treatments were compared by their standard deviation, whereby the significance of the yields was tested. The net return was calculated by subtracting the estimated production costs from the estimated gross income of each management system (Johnson *et al.*, 1997; Reddy and Whiting, 2000). Gross income was estimated as the crop yield of the three qualities multiplied by their selling prices. The economic analysis of the management systems of dried chili was made based on the relationship benefit/cost, which results from dividing gross income by its corresponding production cost.

## Results and discussion

Among the management systems, plant height was different between years, although the response within the same year to different management systems was similar (Figure 1). In 2007, chili pepper plants under all management systems had the same height at 989 HU, after which the plants produced with the LC treatment were higher than those produced with LR. There were no plant height data for the plants produced with the ACOL and IAS systems after the accumulation of 989 HU due to the mortality caused by the fungus *Phytophthora capsici* in the chili plant population. The chili pepper plants managed with the ACOL system tended to be higher than those produced with other management systems from 2008 to 2010, while the plots cultivated under the IAV system showed the lowest plant heights at the end of the production seasons in 2008 and 2009.

In 2008, the chili plants from plots managed with the ACOL system tended to be higher after the accumulation of 680 HU, while in 2009 the plants managed with the ACOL system were higher from the beginning to 718 HU, after which crop height was similar across all management systems. On average, the height of chili pepper plants was about 10, 11 and 5 cm higher in 2007 than in 2008, 2009 and 2010, respectively; the plants stopped their growth in height between 960 and 989 HU, showing a direct relationship between height and accumulation of HU.



**Figura 1. Altura de planta de chile mirasol como una función de las unidades calor estimadas a través de la temporada de crecimiento. Temperaturas umbrales 30/10 °C. ACOL= riego por goteo+acolchado plástico, LC= labranza convencional, IAV= incorporación de abono verde, IAS= incorporación de abono seco, LR= labranza reducida.**

**Figure 1. Plant height of mirasol chili pepper as a function of the heat units estimated throughout the growing season. Threshold temperatures 30/10 °C. ACOL: drip irrigation + plastic mulch; LC: conventional tillage; IAV: green manure incorporation; IAS: corn stover incorporation; LR: reduced tillage.**

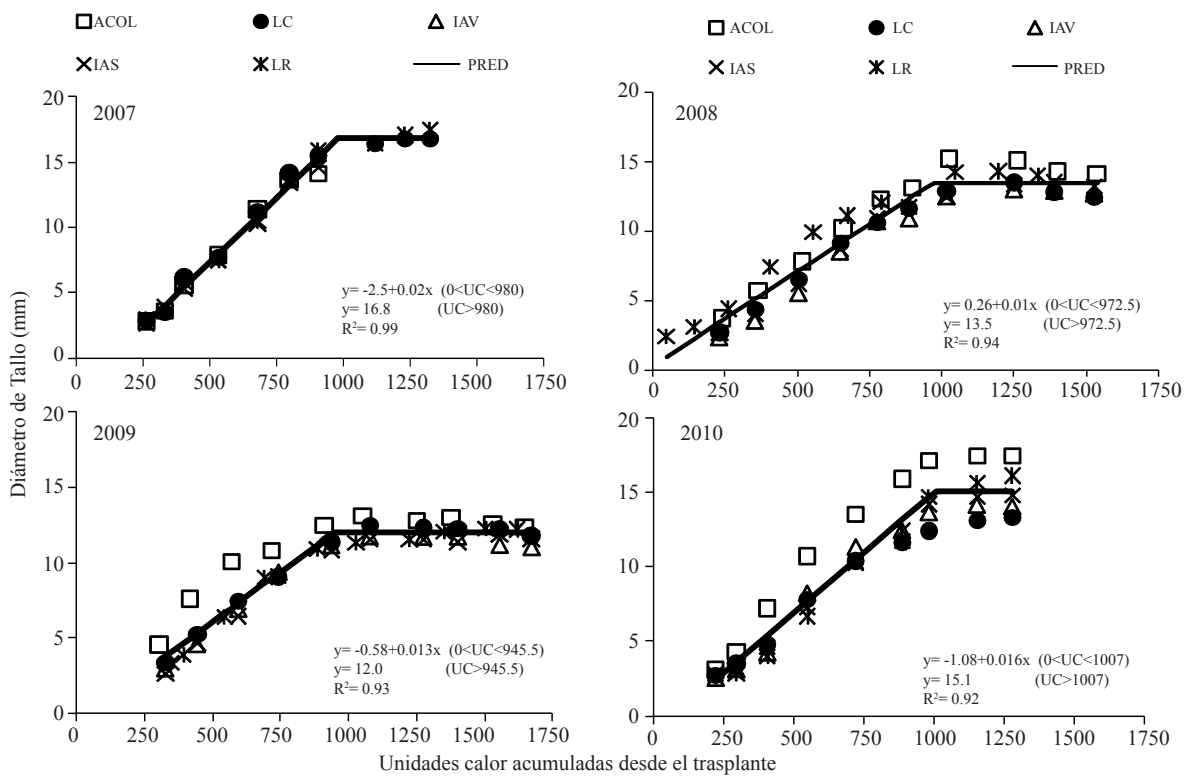
En 2008, las plantas de chile de parcelas manejadas con el sistema ACOL tendieron a ser más altas después de las 680 UC acumuladas, mientras que en 2009 las plantas manejadas con ACOL fueron más altas desde el inicio hasta las 718 UC, después de lo cual la altura del cultivo fue similar entre todos los sistemas de manejo. En promedio, la altura de las plantas de chile fue aproximadamente 10, 11 y 5 cm mayor en 2007 que en 2008, 2009 y 2010, respectivamente, deteniendo las plantas su crecimiento en altura entre las 960 y 989 UC, observándose una relación directa entre altura y la acumulación de UC.

El diámetro del tallo de las plantas de chile fue diferente entre años, pero la respuesta dentro de años a los diferentes tratamientos tecnológicos fue similar (Figura 2). En 2007, las plantas de chile alcanzaron en promedio un diámetro de tallo de aproximadamente 17 mm, mientras que diámetros de 13.5, 12 y de 15 mm se cuantificaron en 2008, 2009 y 2010, respectivamente. En 2009 y 2010, la respuesta de las plantas

The stem diameter of the chili plants was different between years, but the response within the same year to different technological treatments was similar (Figure 2). In 2007, the chili pepper plants reached an average stem diameter of approximately 17 mm, while diameters of 13.5, 12 and 15 mm were measured in 2008, 2009 and 2010, respectively. In 2009 and 2010, the response of chili pepper plants managed with ACOL was to show a wider stem diameter than with other management systems, although the wider stem diameter could be seen during the growth period from 418 to 911 HU in 2009, and from 400 HU until the end of the season in 2010. Chili pepper plants stopped growing in terms of stem diameter between 946 and 1007 HU. Based on the coefficients of determination  $R^2$ , the linear platform models explained between 90 and 98% of the variability shown by plant height and between 92 and 99% of the variability of stem diameter. The growth rates for plant height and stem diameter were higher in 2007 than in other years, but the chili pepper plants required less accumulation of HU to reach their platforms in 2008 and 2009.

de chile manejadas con ACOL fue mostrar un diámetro de tallo mayor que con otros sistemas de manejo, aunque este alto diámetro de tallo se mostró durante el periodo de crecimiento de 418 hasta 911 UC en 2009 y de 400 UC hasta el fin de la estación en 2010. Las plantas de chile detuvieron su crecimiento en términos de diámetro de tallo entre 946 y 1 007 UC. Basado en los coeficientes de determinación  $R^2$ , los modelos de plataforma lineal explicaron entre 90 y 98% de la variabilidad mostrada por la altura de planta y entre 92 y 99% de la variabilidad de diámetro de tallo. Las tasas para altura de planta y diámetro de tallo en 2007 fueron más rápidas que en los otros años, pero las plantas de chile requirieron menos acumulación de UC para alcanzar sus plataformas en 2008 y 2009.

In 2007, the dry matter (DM) of the chili plants grown under the production systems ACOL, IAS and LC was similar for the first 796 HU, although such similarity in the DM of the chili plants produced with the ACOL and LC systems continued to 888 HU (Figure 3). The DM of chili plants managed with the LC system showed stabilization in their growth from 1019 HU. In 2008, the DM in the different management systems was similar during the first 680 HU, but the DM of chili pepper plants in plots with ACOL was higher than the plants in the other systems from 680 HU to the end of the crop cycle. The accumulation of DM in chili plants managed with ACOL and LC stopped at 1 268 HU, while the plants managed with LR accumulated DM until 1174 HU.



**Figura 2. Diámetro de tallo de chile mirasol como una función de las unidades calor estimadas a través de la temporada de crecimiento. Temperaturas umbrales 30/10 °C. ACOL= Riego por goteo+Acolchado Plástico, LC= labranza convencional, IAV= incorporación de abono verde, IAS= incorporación de abono seco, LR= labranza reducida.**

**Figure 2. Stem diameter of mirasol chili pepper as a function of the heat units estimated throughout the growing season. Threshold temperatures 30/10 °C. ACOL: drip irrigation + plastic mulch; LC: conventional tillage; IAV: green manure incorporation; IAS: corn stover incorporation; LR: reduced tillage.**

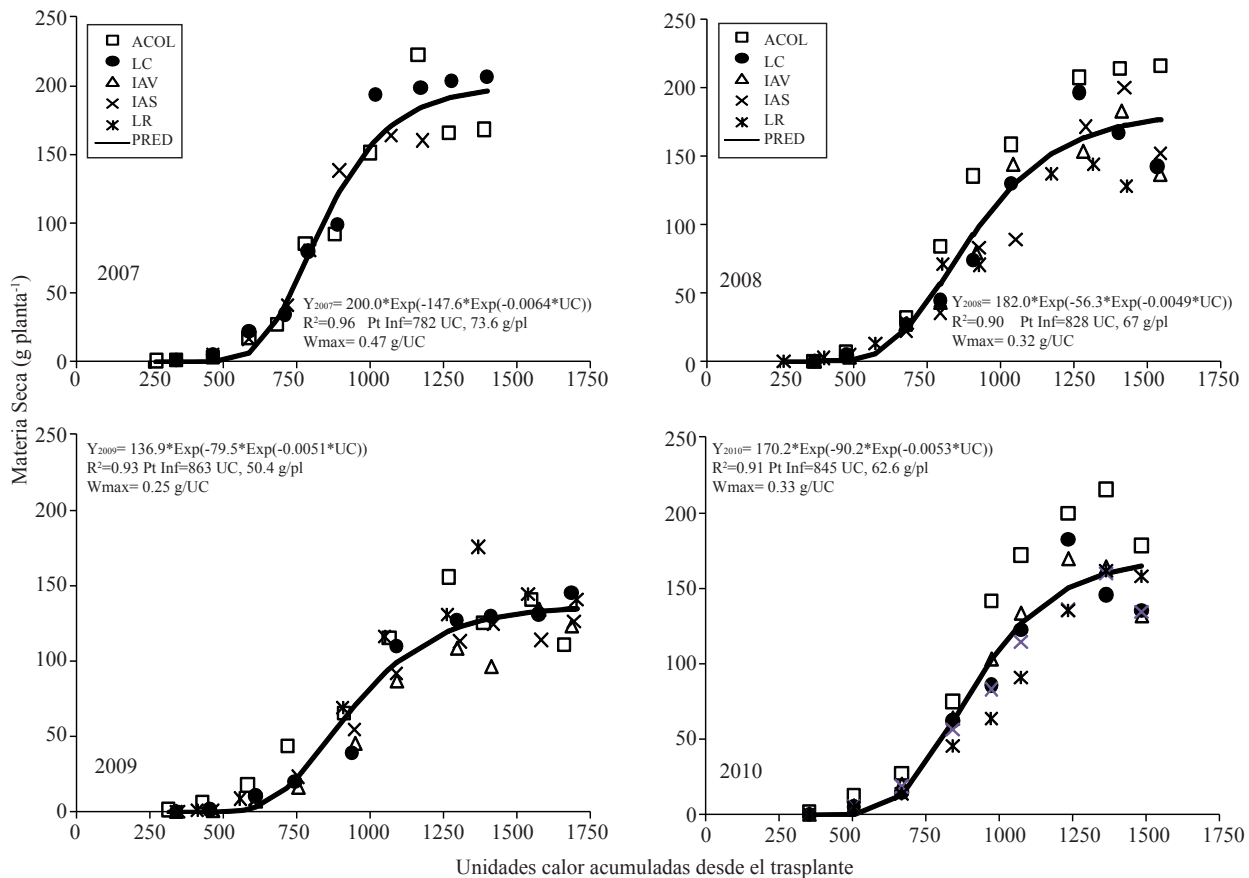
En 2007, la materia seca (MS) de las plantas de chile crecidas en los sistemas de producción ACOL, IAS y LC fue similar en los primeros 796 UC aunque tal similitud en MS de las plantas de chile producidas con los sistemas ACOL y LC se extendió hasta 888 UC (Figura 3). La MS de plantas de chile con el

In 2009, the response of chili pepper plants to the different management systems was similar throughout the crop cycle, except for the chili plants managed with ACOL and LR, which showed a higher DM than the plants in the other systems at 1 267 and 1 366 HU. In 2010, the accumulated

sistema LC mostró una estabilización en su crecimiento a partir de las 1 019 UC. En 2008, la MS en los diferentes sistemas de manejo fue similar durante las primeras 680 UC, pero la MS de plantas de chile en parcelas con ACOL fue mayor que la de los otros sistemas desde esa acumulación de unidades calor hasta el final del ciclo del cultivo. La acumulación de MS de plantas de chile en ACOL y LC paró a las 1 268 UC, mientras que las plantas en LR acumuló MS hasta las 1 174 UC.

DM began to differ after 970 HU; the chili plants managed with ACOL stood out by showing the highest accumulation of DM during the rest of the season.

Based on the coefficients of determination  $R^2$ , the Gompertz models explained between 90 and 96% of the variability in the relationship DM-HU. Across the management systems, the estimated total accumulation of DM, represented by the



**Figura 3. Materia seca acumulada en respuesta a los sistemas de manejo de acolchado plástico+ riego por goteo (ACOL), incorporación de abono verde (IAV), incorporación de abono seco (IAS), labranza reducida (LR) y labranza convencional (LC). Temperaturas umbrales 30/10 °C. La línea continua representa datos estimados por la ecuación de Gompertz.**  
**Figure 3. Accumulated dry matter in response to the management systems of ACOL: drip irrigation + plastic mulch; LC: conventional tillage; IAV: green manure incorporation; IAS: corn stover incorporation; LR: reduced tillage. Threshold temperatures 30/10 °C. The continuous line represents the data estimated by the Gompertz equation.**

En 2009, la respuesta de las plantas de chile a los diferentes sistemas de manejo fue similar a través de todo el ciclo del cultivo, excepto por aquellas plantas de chile manejadas con ACOL y LR, que mostraron una MS por encima de los otros sistemas a las 1267 y 1366 UC. En 2010, la MS acumulada empezó a ser diferente desde las 970 UC, sobresaliendo las plantas de chile en ACOL por mostrar la más alta acumulación de MS durante el resto de la temporada.

parameter A, was less than in 2007; 9% less in 2008, 32% in 2009 and 15% in 2010, while the estimated rate of accumulation of DM, represented by the parameter K, was slower than in 2007: 23% in 2008, 20% in 2009 and 17% in 2010. The turning point, which represents the time in HU when the maximum accumulation of DM occurs, came earlier in 2007 than in 2008 and 2009 because the maximum rate of 0.47 g HU<sup>-1</sup> was reached at 782 HU. The



Basado en los coeficientes de determinación  $R^2$ , los modelos de Gompertz explicaron entre 90 y 96% de la variabilidad en la relación MS-UC. A través de los sistemas de manejo, la acumulación total de MS estimada, la cual es el parámetro A, fue 9% en 2008, 32% en 2009 y 15% en 2010 menos que en 2007, mientras que tasa estimada de acumulación de MS, representada por el parámetro K, fue 23% en 2008, 20% en 2009 y 17% en 2010 más lenta que en 2007. El punto de inflexión, el cual representa el tiempo en UC cuando ocurre la máxima acumulación de MS, fue más temprano en 2007 que en 2008 y 2009, debido a que la tasa máxima de  $0.47 \text{ g UC}^{-1}$  se alcanzó a las 782 UC. Las tasas máximas en 2008, 2009 y 2010 fueron  $0.32 \text{ g UC}^{-1}$  ocurridas a las 828 UC,  $0.26 \text{ g UC}^{-1}$  a las 863 UC y  $0.33 \text{ g UC}^{-1}$  a las 845 UC, respectivamente.

El menor rendimiento de chile de primera, y en menor grado el rendimiento total, observado en parcelas manejadas con ACOL en 2007 y 2010, así como en parcelas con LR en 2010, fue principalmente atribuido al efecto producido por *Phytophthora capsici* en el número de frutos por metro cuadrado más que en el peso de fruto (Cuadro 1). En algunos sitios de la parcela con ACOL en 2007 la población de plantas enfermas fue de hasta 100%, distribuyéndose este porcentaje en 50% de la parcela.

En 2007, los rendimientos de primera y total obtenidos con el sistema LR fueron 68 y 13%, así como 62 y 11% más altos que con los sistemas ACOL y LC (Cuadro 1). En este año, el rendimiento de primera y las otras calidades de fruta incluidas dentro del rendimiento total no fueron medidos en parcelas con los sistemas IAV y IAS, porque el primero fue establecido hasta 2008 y el último fue perdido a causa del ataque de enfermedades de la raíz.

En 2008 y 2010, las parcelas con LR y ACOL mostraron similares rendimientos de fruto de primera, pero diferentes a IAV, IAS y LC, los cuales fueron estadísticamente similares entre ellos, a pesar de la diferencia respecto a IAV de  $526 \text{ kg ha}^{-1}$  por abajo en IAS en 2008 y  $329 \text{ kg ha}^{-1}$  por abajo en LC en 2010. Mientras que LR y IAV produjeron similares rendimientos de primera en 2009, así como una tendencia constante en relación con los rendimientos obtenidos en 2008, parcelas con IAV, IAS y LC mostraron una significativa reducción de rendimiento.

Los resultados sugieren que el cultivo de chile respondió de manera diferente a los sistemas de manejo al mostrar valores más altos de altura de planta, diámetro de tallo y

maximum rates in 2008, 2009 and 2010 were  $0.32 \text{ g}^{-1}$  at 828 HU,  $0.26 \text{ g HU}^{-1}$  at 864 HU and  $0.33 \text{ g HU}^{-1}$  at 845 HU, respectively.

The lower yield of first class chili, and in a lesser degree the total yield, observed in plots managed with ACOL in 2007 and 2010, as well as in plots with LR in 2010, was primarily attributable to the effect of *Phytophthora capsici* on the number of fruits per square meter, more than to the weight of fruit (Table 1). In some parts of the plot with ACOL, in 2007, the population of diseased plants reached up to 100% distributed in 50% of the plot.

In 2007, the first class and overall yields obtained with the LR system were 68 and 13% respectively, and 62 and 11% higher than with the ACOL and LC systems (Table 1). In this year, the yield of first class chilis and of the other qualities of fruit included in the total yield were not measured in plots managed with IAV and IAS systems because the first was established until 2008 and the latter was lost due to the attack of root diseases.

In 2008 and 2010, the plots managed with LR and ACOL showed similar yields of first class fruits, but different than the yields obtained with IAV, IAS and LC, which were statistically similar to each other, despite the difference with respect to IAV,  $526 \text{ kg ha}^{-1}$  lower with IAS in 2008 and  $329 \text{ kg ha}^{-1}$  lower with LC in 2010. While LR and IAV produced similar yields of first class fruits in 2009, and showed a constant trend with respect to the yields in 2008, the plots managed with IAV, IAS and LC showed a significant reduction in yield.

The results suggest that the chili crop responded differently to the management systems; it showed higher values of plant height, stem diameter and dry matter accumulation when managed with ACOL than with other management systems. This response to ACOL can be attributed to the availability of water in the radical zone provided by drip irrigation with or without plastic mulch (Muralikrishnasamy *et al.*, 2006; Singh *et al.*, 2009), as well as to the prevention of the loss of soil moisture by evaporation (Mamkagh, 2009) and to the more uniform soil temperature (Van Der Westhuizen, 1980) produced by the use of padded plastics.

The performance of the soil amendments, within and across years, with respect to the growth variables was not different than with the LC system. A possible explanation for this response is related to possible insufficient amounts of dry oats and corn straw incorporated into the soil, indicating that the inorganic fertilizers were the only ones that provoked a

acumulación de materia seca cuando el cultivo fue manejado con ACOL que con los otros sistemas de manejo. Esta respuesta a ACOL puede ser atribuida a la disponibilidad de agua en la zona radical suministrada por el riego por goteo con o sin acolchado plástico Singh *et al.*, 2009), así como a la prevención de la pérdida por evaporación de la humedad del suelo (Mamkagh, 2009) y a la más uniforme temperatura del suelo (Van Der Westhuizen, 1980) producido por el uso de acolchados plásticos.

response by the chili pepper. In our study, the incorporation into the soil of oat green manure in amounts of 5.1 t ha<sup>-1</sup> dry weight or corn straw in amounts of 2.6 t ha<sup>-1</sup> involved approximately 0.9 t ha<sup>-1</sup> and 0.4 t ha<sup>-1</sup> less dry matter than the amounts used by Astier *et al.* (2006) and Wang *et al.* (2001) in corn, respectively. The beneficial aspects of the incorporation of oat green manure and corn stover in terms of crop productivity and the physico-chemical properties of the soils are widely recognized (Ketcheson and Beauchamp, 1978; Astier *et al.*, 2006).

**Cuadro 1. Rendimientos de chile seco (kg ha<sup>-1</sup>), número de frutos de primera m<sup>-2</sup>, peso por fruto (g) a la cosecha y relación beneficio/costo de chile manejado con ACOL, LC, IAV, IAS, o LR (valores promedio ± error estándar de la media).**  
**Table 1. Dried chili yields (kg ha<sup>-1</sup>), number of first class fruits per m<sup>-2</sup>, fruit weight (g) at harvest and benefit/cost relationship of chilis managed with ACOL, LC, IAV, IAS, or LR (average values ± standard error of the mean).**

Parámetro	Año	ACOL	LC	IAV	IAS	LR
Primera	2007	459.5 ± 82.64	1274.8 ± 98.46	---	---	1420.9 ± 92.97
	2008	1649.9 ± 62.1	2314.4 ± 67.34	2761.8 ± 82.33	2235.5 ± 76.71	1630.2 ± 73.96
	2009	1390.9 ± 48.12	1656.8 ± 39.82	1152.1 ± 58.72	1556.0 ± 54.54	1663.0 ± 42.39
	2010	714.0 ± 53.03	1774.4 ± 55.46	2103.6 ± 48.61	1925.7 ± 52.81	714.5 ± 68.32
Total	2007	1344.6 ± 161.41	3119.3 ± 142.50	---	---	3520.7 ± 177.81
	2008	3219.9 ± 82.46	3834.5 ± 81.03	4661.6 ± 92.25	4325.5 ± 115.38	3349.9 ± 109.29
	2009	2596.8 ± 76.46	2859.3 ± 55.19	2308.4 ± 107.35	2770.4 ± 77.11	2815.8 ± 61.21
	2010	2017.3 ± 110.30	3931.7 ± 74.48	4648.1 ± 66.73	4205 ± 66.35	1820.3 ± 124.66
Frutos m <sup>-2</sup>	2007	5.8 ± 1.05	15.1 ± 1.30	---	---	16.2 ± 1.09
	2008	23.8 ± 0.88	33.4 ± 0.93	39.7 ± 1.25	30.8 ± 1.01	21.2 ± 0.79
	2009	21.5 ± 0.65	23.9 ± 0.55	16.3 ± 0.71	21.1 ± 0.70	25.0 ± 0.61
	2010	10.4 ± 0.80	26.0 ± 0.85	31.0 ± 0.86	30.7 ± 0.84	9.6 ± 0.93
Peso seco por fruto	2007	7.8 ± 0.08	8.0 ± 0.07	---	---	8.8 ± 0.14
	2008	7.0 ± 0.12	6.9 ± 0.06	7.0 ± 0.06	7.3 ± 0.05	7.7 ± 0.13
	2009	6.5 ± 0.07	6.9 ± 0.06	7.0 ± 0.10	7.4 ± 0.06	6.7 ± 0.05
	2010	6.9 ± 0.14	6.9 ± 0.06	6.9 ± 0.10	6.3 ± 0.07	6.7 ± 0.25
B/C	2007	0.55	1.96	---	---	1.68
	2008	1.52	2.69	3.26	2.83	2.45
	2009	0.96	1.49	1.14	1.47	1.79
	2010	0.64	1.94	2.29	2.10	0.99

ACOL= riego por goteo+ acolchado plástico; LC= labranza convencional; IAV= abono verde incorporado; IAS= rastrojo de maíz incorporado; LR= labranza reducida.

El desempeño dentro y a través de años de las enmiendas al suelo en las variables de crecimiento no fue diferente al sistema con LC. Una posible explicación a esa respuesta está relacionada con posibles cantidades insuficientes de materia seca de avena y paja de maíz ambos incorporados al

However, the low amount of corn stover incorporated into the soil in our fields helped to prevent the abatement of nitrogen reserves observed by Ketcheson and Beauchamp (1978), implying that the maintenance of the yield of chili occurred because the nitrogen fertilizer was

suelo, indicando que solamente los fertilizantes inorgánicos ocasionaron la respuesta del chile. Abono verde de avena en cantidades de  $5.1 \text{ t ha}^{-1}$  de peso seco o paja de maíz en cantidades de  $2.6 \text{ t ha}^{-1}$  incorporadas al suelo en nuestro estudio, implicaron aproximadamente  $0.9 \text{ t ha}^{-1}$  y  $0.4 \text{ t ha}^{-1}$  menos que las cantidades usadas por Astier *et al.* (2006) y Wang *et al.* (2001) en maíz, respectivamente. Aspectos benéficos en la productividad del cultivo y propiedades físico-químicas de los suelos del abono verde de avena y rastrojo de maíz están ampliamente reconocidas (Ketcheson y Beauchamp, 1978; Astier *et al.*, 2006).

Sin embargo, la baja cantidad de rastrojo de maíz incorporada al suelo en nuestras parcelas ayudó a evitar el abatimiento de las reservas de nitrógeno observado por Ketcheson y Beauchamp (1978), implicando que el mantenimiento del rendimiento de chile ocurrió porque el fertilizante nitrógeno estuvo en uso. Basado en este análisis, es necesaria más investigación sobre evaluación de tipos y dosis de abonos verdes para chile seco.

El efecto de LR en el crecimiento del chile fue similar al de LC porque la única diferencia entre ambos sistemas fue la falta de actividades de labranza antes del trasplante en LR. No obstante las plántulas de chile fueran trasplantadas en surcos intactos construidos durante el manejo del cultivo previo, una textura franca del suelo así como la aplicación de riegos al momento del trasplante, a los 3 y 8 días después del trasplante promovieron un ambiente no perjudicial para el crecimiento de las raíces antes de aplicar la primera escarda. Ese ambiente probablemente incluyó una similar resistencia a la penetración del suelo en la capa arable y un incrementado contenido de la humedad del suelo entre los sistemas de labranza reducida y convencional (De Giorgio y Fornaro, 2004).

La respuesta del rendimiento del cultivo a los sistemas de manejo varió entre años a causa de la susceptibilidad a factores externos y el comportamiento a localidades de Chile. La incidencia de *Phytophthora* ocurrió en parcelas con ACOL en 2007 y 2010, así como en LR en 2010, afectó los rendimientos total y de primera al reducir el número de frutos por  $\text{m}^2$ . La incidencia de esta enfermedad en plantaciones de Chile es usualmente promovida por un alto contenido de agua en el suelo (Ristaino, 1991), lo cual fue en nuestro caso provocado por un exceso de agua dentro de nuestras parcelas de estudio ocasionado por una fuerte tormenta asociado al desnivel de algunos surcos, lo que evitó el flujo libre de ese exceso de agua.

Las plantas tienen que hacer ajustes estomáticos debido a la generación de gradientes hídricos, los cuales son ocasionados por la diferencia entre las presiones de vapor de agua del aire

in use. Based on this analysis, more research is needed on the assessment of types and dose of green manure for dry chili.

The effect of LR on the growth of chili pepper was similar to the effect of LC, as the only difference between the two systems was the lack of farming activities before transplantation in the LR. However, the chili pepper seedlings were transplanted into intact furrows built during the previous crop management; a loamy soil and the application of irrigation at the moment of transplantation and 3 and 8 days after, promoted a non-harmful environment to root growth before applying the first weeding. This environment probably included similar soil penetration resistance in the topsoil and increased soil moisture content between the reduced tillage systems and the conventional systems (De Giorgio and Fornaro, 2004).

The crop yield response to the management systems varied between years because of the susceptibility to external factors and the behavior of the chili pepper according to its location. The incidence of *Phytophthora* occurred in plots managed with ACOL in 2007 and 2010, as well with LR in 2010; it affected total yields of first class fruits by reducing the number of fruits per  $\text{m}^2$ . The incidence of this disease in chili pepper plantations is usually promoted by a high soil water content (Ristaino, 1991), which in our case was caused by an excess of water within our study plots caused by a storm and also by the irregularity of some furrows, which prevented the free flow of excess water.

Plants perform stomatal adjustments in response to the generation of water gradients, which are caused by the difference between the pressure of water vapor in the air and in the leaf (Grantz and Zeiger, 1986). In conditions of low relative humidity, transpiration increases, causing water deficits in the plants, which provokes the partial or complete closure of the stomata and increase the resistance of the mesophyll, blocking the exchange of  $\text{O}_2$  and  $\text{CO}_2$ , which is essential for respiration and photosynthesis (Taiz and Zeiger, 1991).

Although the yields of first class dry chilis in LR were not as high as in other systems, the yield response to this system was consistent in three of the four years of study. Comparing the response to LR with the response to LC, it can be seen that much of the response to the first system was caused by the physical conditions of the untilled soil that favored root development (Ketcheson, 1980).

y la hoja (Grantz y Zeiger, 1986). En condiciones de baja humedad relativa, la transpiración se incrementa causando déficits hídricos en las plantas, los cuales producen el cierre parcial o total de los estomas e incrementa la resistencia del mesófilo bloqueando el intercambio de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> que es esencial para la respiración y fotosíntesis (Taiz y Zeiger, 1991).

Aunque los rendimientos de fruto de primera calidad de chile seco en LR no fueron tan altos como en otros sistemas, la respuesta en el rendimiento a este sistema fue consistente en tres de los cuatro años de estudio. De acuerdo a la respuesta a LR en comparación al sistema de LC, mucho de esta respuesta fue ocasionada por la condición física del suelo sin labrar para el desarrollo de la raíz (Ketcheson, 1980).

## Conclusiones

Los resultados descritos en este estudio indican que los rendimientos de chile seco en el altiplano de Zacatecas están influenciados a través de años por una serie de factores extrínsecos, tales como enfermedades y algunos elementos climáticos presentes a través de la duración del estudio más que por el sistema de producción usado. Esta misma respuesta del rendimiento del cultivo fue observada no obstante la adición al análisis del componente económico, lo cual indica que cualquiera de los sistemas de producción evaluados, excepto por ACOL, permitió la recuperación de la inversión y obtener ganancias. Pérdidas económicas por el sistema de producción ACOL son atribuibles a su disminuido rendimiento de fruto y gastos anuales en la película plástica, riego por goteo y fertilizantes solubles.

En base a los rendimientos obtenidos a través de los cuatro años de estudio, la incorporación de abonos verde o seco representan una recomendable alternativa, porque además de regresar al suelo algo que se le extrajo volviéndolo un sistema sostenible, siempre se obtuvo más de lo económicamente invertido. Los resultados obtenidos con el sistema de labranza reducida demuestran que la producción de chile no requiere del disturbio del suelo previo a la plantación, lo que lo vuelve un sistema altamente sostenible y rentable por lo reducido de su inversión. El sistema convencional o tradicional podría continuar siendo una opción importante en la producción de chile mirasol, ya que con un manejo adecuado del agua de riego, fertilización, y una oportuna aplicación de las actividades de labranza, la rentabilidad del sistema es posible.

## Conclusions

The results described in this study indicate that dried chili pepper yields in the highlands of Zacatecas were influenced through the years by a number of extrinsic factors, such as diseases and some climatic elements present throughout the duration of the study, rather than by the production system used. This same response of crop yield was observed despite the addition of an economic component to the analysis, which indicates that any of the production systems tested, except for ACOL, allowed to recover the investment and to obtain a profit. The economic losses caused by the ACOL production system are attributable to the decreased in fruit yield and the annual expenditure on plastic films, drip irrigation and soluble fertilizers.

Based on the yields obtained through the four years of study, the incorporation of green or dry manure represents a good alternative, because in addition to returning to the soil something that was extracted from it, thus making it a sustainable system it was always possible to obtain more than what was invested. The results obtained with the reduced tillage system show that the production of chili pepper does not require the disturbance of the soil prior to planting, which makes it a highly sustainable and profitable system due to the need of a lower investment. The conventional or traditional system could continue to be an important option in mirasol chili production because, with proper management of irrigation water, fertilization, and the timely implementation of the activities of tillage, it can be a profitable system.

*End of the English version*



## Literatura citada

- Amador, R. M. D. 1991. Diagnóstico de malezas en chile *Capsicum annuum* L. en Zacatecas. XII Congreso Nacional de la Ciencia de la Maleza. Acapulco, Guerrero. 103 p.
- Bravo, L. A. G.; Cabañas, C. B.; Mena, C. J.; Velásquez, V. R.; Rubio, D. S.; Mojarro, D. F. y Medina, G. G. 2002. Guía para la producción de chile seco en el Altiplano de Zacatecas. Publicación técnica Núm. 1. Campo Experimental Zacatecas, INIFAP. 40 p.
- Burciaga, G. M.; Bravo, L. A. G. y Amador, R. M. D. 2004. Eficiencia del agua en el cultivo de chile seco mirasol (*Capsicum annuum* L.) con riego por goteo, con y sin acolchado y riego por gravedad. 1ª Convención Mundial del Chile 2004. León, Guanajuato. México. 215-219 pp.

- De Giorgio, D. and Fornaro, F. 2004. Tillage systems for a sustainable growth of broad bean (*Vicia faba* L. *major*) in a semiarid region of Southern Italy. 13<sup>th</sup> International Soil Conservation Organisation Conference. Brisbane, July 2004. Paper 934. 4 p. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAOSTAT). 2009. Food and agricultural commodities production. <http://www.faostat.fao.org> (consultado septiembre, 2011).
- Galindo, G. G.; López, M. C.; Cabañas, C. B.; Pérez, T. H. y Robles, M. A. 2002. Caracterización de productores de chile en el altiplano de Zacatecas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Zacatecas. Folleto científico Núm. 5. 102 p.
- Grantz, D. A. and Zeiger, E. 1986. Stomatal responses to light and leaf-air water vapor pressure difference show similar kinetics in sugarcane and soybean. *Plant Physiol.* 81:865-868.
- Johnson, W. G.; Kendig, J. A.; Massey, R. E.; Defelice, M. S. and Becker, Ch. D. 1997. Weed control and economic returns with postemergence herbicides in narrow-row soybeans (*Glycine max*). *Weed Technol.* 11:453-459.
- Ketcheson, J. W. and Beauchamp, E. G. 1978. Effects of corn stover, manure, and nitrogen on soil properties and crop yield. *Agron. J.* 70:792-797.
- Ketcheson, J. W. 1980. Effect of tillage on fertilizer requirements for corn on a silt loam soil. *Agro. J.* 72:540-542.
- Land and Water Conservation. 1978. Reduced tillage for soil erosion control. Natural Resources, New South Wales Government. 6p. [http://www.naturalresources.nsw.gov.au/care/soil/soil\\_pubs/pdfs/reduced\\_tillage.pdf](http://www.naturalresources.nsw.gov.au/care/soil/soil_pubs/pdfs/reduced_tillage.pdf). (consultado agosto, 2009).
- Lyon, D. J.; Bruce, S.; Vyn, T. and Peterson, G. 2004. Achievements and future challenges in conservation tillage. *In*: New directions for a diverse planet. Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Crop Science Congress. 26 sep.- 01 oct. 2004, Brisbane, Australia.
- Mamkagh, A. M. A. 2009. Effect of tillage time and plastic mulch on growth and yield of okra (*Abelmoschus esculentus*) grown under rainfed conditions. *International J. Agric. Biol.* 11:453-457.
- Mojarro, D. F. 2004. Optimización del uso del agua de riego para incrementar la productividad de chile seco en Zacatecas. 1<sup>a</sup> Convención Mundial del Chile 2004. León, Guanajuato. México. 203-210 pp.
- Reddy, K. N. and Whiting, K. 2000. Weed control and economic comparisons of glyphosate-resistant, sulfonylurea-tolerant, and conventional soybean (*Glycine max*) systems. *Weed Technol.* 14:204-211.
- Ristaino, J. B. 1991. Influence of rainfall, drip irrigation, and inoculum density on the development of *Phytophthora* root rot and crown rot epidemics and yield in bell pepper. *Phytopathology* 81:922-929.
- Scholberg, J.; McNeal, B. L.; Jones, J. W.; Boote, K. J.; Stanley, C. D. and Obreza, T. A. 2000. Growth and canopy characteristics of field grown tomato. *Agron. J.* 92:152-159.
- Serna, P.; A.; Zegbe, D. J.; Mena, C. J. y Rubio, D. S. 2008. Sistemas de manejo para la producción sustentable de chile seco Cv. Mirasol. *Rev. Fitotec. Mex.* 31. Núm. Esp. 3:41-44.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2010. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola <http://www.siap.gob.mx>. (consultado septiembre, 2011).
- Singh, R.; Kumar, S.; Nangare, D. D. and Meena, M. S. 2009. Drip irrigation and black polyethylene mulch influence on growth, yield and water-use efficiency of tomato. *African J. Agric. Res.* 4:1427-1430.
- Statistical Analysis Systems (SAS). 1999-2001. SAS/STAT User's Guide. Carey, N. C. Release 8.02.
- Taiz, L. and Zeiger, E. 1991. *Plant physiology*. The Benjamin/Cummings Publishing Company Inc. Redwood City, Calif. USA.
- Vandepitte, V.; Quataert, P.; De Rore, H. and Verstraete, W. 1995. Evaluation of the Gompertz function to model survival of bacteria introduced into soils. *Soil Biol. Biochem.* 27:365-372.
- Van Der Westhuizen, J. H. 1980. The effect of black plastic mulch on growth, production and root development of chenin blanc vines under dryland conditions. *South African J. Enol. Viticulture* 1:1-6.
- Wang X. B.; Cai, D. X. and Zhang, J. Q. 2001. Land application of organic and inorganic fertilizer for corn in dryland farming region of North China. *In*: de Stott, R. H.; Mohtar, G.; Steinhardt, C. (eds.). 2001. Sustaining the global Farm. 10<sup>th</sup> International Soil Conservation Organization Meeting. May 24-29, 1999. Purdue University and USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory. USA. 419-422 pp.