

Evaluación de tecnología para maximizar la producción de chile serrano en la Región Lagunera*

Evaluation of technology to maximize the production of chile serrano in the Region Lagunera

Gerardo Delgado Ramírez^{1§}, Marco Antonio Inzunza Ibarra¹, Ma. Magdalena Villa Castorena¹, Ernesto Alonso Catalán Valencia¹ y Abel Román López¹

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-CENID RASPA. Margen Derecha Canal Sacramento, km 6.5. C. P. 35140. Gómez Palacio, Durango, México. Tel: (871)1590104 (inzunza.marco@inifap.gob.mx; villa.magdalena@inifap.gob.mx; catalan.ernesto@inifap.gob.mx; roman.abel@inifap.gob.mx).

[§]Autor para correspondencia: delgado.gerardo@inifap.gob.mx.

Resumen

México tiene una extensa diversidad genética de chile verde con alrededor de 40 variedades. El chile serrano es de los favoritos para su consumo en fresco mediante la elaboración de salsas. Por su adaptabilidad, el chile serrano se produce en regiones del país que cubren un amplio rango de condiciones ambientales; sin embargo, los rendimientos alcanzados son contrastantes por los diferentes niveles de tecnología aplicados. En la Región Lagunera de Coahuila y Durango, el rendimiento promedio alcanza 65% del rendimiento promedio del estado con mayor producción de esta hortaliza. No obstante, estudios previos con otros cultivos han mostrado que es posible alcanzar y hasta superar a los estados más productores mediante el uso de cultivares mejorados y la combinación de técnicas como el riego por goteo y el acolchado plástico. El objetivo del presente estudio fue evaluar tecnología para incrementar la producción, productividad y rentabilidad del cultivo de chile serrano en la Región Lagunera. Se probaron los híbridos comerciales Camino Real F1, Montero y Arista F1, así como algunas estrategias para precisar el control del régimen hídrico del chile serrano cultivado con riego localizado y acolchado plástico. Estas estrategias consistieron en el uso de dos procedimientos para el cálculo del consumo de agua y dos alternativas para la colocación de la cinta de riego. Los

Abstract

Mexico has an extensive genetic diversity of green chile with about 40 varieties. The chile serrano is a favourite for fresh consumption for making sauces. For its adaptability, chile serrano is produced in regions that cover a wide range of environmental conditions; however, yields achieved are contrasting by the different levels of technology applied. In the Lagunera region of Coahuila and Durango, the average yield reaches 65% of the state average with the highest production of this vegetable. However, previous studies with other crops have shown that it is possible to reach and even surpass the highest producing States using improved varieties in combination of techniques such as drip irrigation and plastic mulch. The aim of this study was to evaluate technology to increase production, productivity and profitability of growing chile serrano in the Lagunera Region. We tested the commercial hybrids Camino Real F1, Montero and Arista F1, as well as some strategies to precisely control the water regime in chile serrano grown with drip irrigation and plastic mulch. These strategies involved the use of two methods for calculating water consumption and two alternatives for the placement of the irrigation tract. The results indicated that, the factors studied significantly affected yield, water use efficiency and fruit quality, achieving comparable or higher yields than those recorded in the States with the highest production.

* Recibido: abril de 2014
Aceptado: agosto de 2014

resultados indicaron que los factores estudiados afectaron significativamente el rendimiento, eficiencia de uso del agua y calidad del fruto, lográndose rendimientos comparables o mayores a los registrados en los estados más productores.

Palabras clave: *Capsicum annum* L., coeficientes de cultivo, evapotranspiración, riego por goteo.

El chile es una de las especies hortícolas de mayor importancia ya que se siembran alrededor de 1.72 millones de hectáreas con esta hortaliza a nivel mundial (FAO, 2008). México tiene una extensa diversidad genética de chile verde con alrededor de 40 variedades. Pero no es el productor más importante, ya que produce 6.5 por ciento de la producción mundial (SIAP, 2010). En México, el serrano es de los favoritos para su consumo principalmente en fresco mediante la elaboración de salsas, el consumo por habitante es el mayor a nivel mundial con 7.1 kg por año (Rincón y Zavala, 2000). El chile serrano se produce comercialmente en regiones del país que cubren un amplio rango de condiciones ambientales desde el trópico húmedo, trópico seco, templado y semiárido, por lo cual se tiene abasto de frutos frescos a los centros de consumo del país durante todo el año.

En 2010 se sembraron en México aproximadamente 148 759 ha de chile serrano, con un rendimiento promedio de 6.3 t ha⁻¹ en agricultura de temporal y 24.2 bajo riego. Los estados con mayores rendimientos fueron: Sinaloa, Tamaulipas, Nuevo León y Colima, los cuales oscilaron de 32 a 40 t ha⁻¹. En contraste, Coahuila registró sólo 26.7 t ha⁻¹, siendo la Región Lagunera la de mayor superficie sembrada a nivel estado (Financiera Rural, 2012). Los altos rendimientos de chile se deben principalmente al uso de cultivares mejorados, control del régimen hídrico y la nutrición, estos últimos a partir de técnicas como el riego localizado y el fertirriego. Estudios previos realizados en la Región Lagunera con otros cultivos como: chile jalapeño, brócoli y sandía, lograron incrementar considerablemente los rendimientos promedio con el uso de las tecnologías antes mencionadas (Mendoza *et al.*, 2005; Mendoza *et al.*, 2006; Inzunza *et al.*, 2007).

Una forma de precisar el riego de los cultivos, es mediante el cálculo de la evapotranspiración (ET_c) a partir de variables climatológicas y coeficientes de cultivo. Sin embargo, generalmente se emplea el criterio del coeficiente único del cultivo, el cual combina los efectos de la transpiración del cultivo (T) y la evaporación del suelo (E) en un solo coeficiente K_c, este expresa los efectos promedio en el

Keywords: *Capsicum annum* L., crop coefficients, drip irrigation, evapotranspiration.

Chili is one of the most important vegetable species with about 1.72 million hectares planted worldwide (FAO, 2008). Mexico has an extensive genetic diversity of green chile with about 40 varieties. Nevertheless, it is not the largest producer, producing 6.5 percent of world production (SIAP, 2010). In Mexico, the "serrano" is a favourite one, eaten fresh by making sauces; the consumption per person is the highest in the world, with 7.1 kg per year (Rincón and Zavala, 2000). The chile serrano is commercially produced in regions that cover a wide range of environmental conditions from the humid tropical, dry, temperate and semi-arid tropics, so we have supply of fresh fruits consumption in the centres of the country throughout the year.

In 2010 were planted in Mexico approximately 148,759 ha of chile serrano, with an average yield of 6.3 t ha⁻¹ in rainfed and irrigated 24.2 conditions. The States with higher yields were: Sinaloa, Tamaulipas, Nuevo Leon and Colima, which ranged from 32 to 40 t ha⁻¹. In contrast, Coahuila recorded only 26.7 t ha⁻¹, being the Lagunera region the largest acreage statewide (Financiera Rural, 2012). The high yields of chile is mainly due to the use of improved cultivars, control of the water regime and nutrition, the latter from techniques such as drip irrigation and fertigation. Previous studies in the Lagunera region with other crops such as jalapeno pepper, broccoli and watermelon, managed to significantly increase the average yields with the use of the technologies mentioned (Mendoza *et al.*, 2005; Mendoza *et al.*, 2006; Inzunza *et al.*, 2007).

One way to define the irrigation of crops is by calculating evapotranspiration (ET_c) from climatic variables and crop coefficients. However, generally the criteria of single crop coefficient which combines the effects of crop transpiration (T) and ground evaporation (E) in a single coefficient is used K_c, this expresses the average temporal effects (multiple days) of E on ET_c, which may underestimate or overestimate ET_c during certain periods of the crop cycle (FAO, 1998).

The aim of this study was to evaluate technology to increase production, productivity and profitability of growing chile serrano in the Lagunera Region. The study was conducted in the facilities of the National Center for Disciplinary Research in Relation to Water, Soil, Plant and Atmosphere (CENID-RASPA); located in the village of "Gómez Palacio" Durango. Soil sampling was conducted at two depths 0-30 and 30-60

tiempo (múltiples días) de E sobre ET_c , lo cual puede llevar a subestimar o sobreestimar ET_c durante ciertos períodos del ciclo del cultivo (FAO, 1998).

El objetivo del presente estudio fue evaluar tecnología para incrementar la producción, productividad y rentabilidad del cultivo de chile serrano en la Región Lagunera. El estudio se realizó en las instalaciones del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta y Atmósfera (CENID-RASPA); ubicado en el municipio de Gómez Palacio, Durango. El muestreo de suelo se realizó a dos profundidades 0-30 y 30-60 cm. En los Cuadros 1 y 2 se presentan los resultados de las características físicas y químicas del suelo, estos se utilizaron como referencia para determinar la fertilización y la programación del riego.

Cuadro 1. Características físicas del suelo del sitio experimental.

Table 1. Physical characteristics of the soil of the experimental site.

Prof. (cm)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Textura	MO (%)	CC (%)	PMP (%)
0-30	23	46	31	Franco arcillosa	1.25	33.8	15.2
30-60	21	48	31	Franco arcillosa	1.19	33.9	16.9

MO= materia orgánica; CC= capacidad de campo; PMP= punto de marchitez permanente.

Cuadro 2. Características químicas del suelo del sitio experimental.

Table 2. Chemical characteristics of the soil of the experimental site.

Prof. (cm)	NO ₃ (mg kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Ce (dS m ⁻¹)	pH	PSI (%)	RAS	CIC (meq 100 g ⁻¹)
0-30	27.5	8.1	1075	3.23	8.12	4.40	2.69	25.2
30-60	25.3	7.1	982.5	3.26	8.07	5.26	2.6	24.5

NO₃= nitratos; P= fósforo disponible; K= potasio disponible; Ce= conductividad eléctrica; pH= potencial de hidrógeno; PSI= porcentaje de sodio intercambiable; RAS= relación de adsorción de Sodio; CIC= capacidad de intercambio catiónico.

En este estudio se evaluaron tres híbridos de chile serrano, y cuatro procedimientos para precisar el control del régimen hídrico del chile cultivado con riego localizado y acolchado plástico. Estos procedimientos consistieron en la aplicación de dos métodos para el cálculo del consumo de agua y dos modalidades de colocación de la cinta de riego. Los híbridos fueron Camino Real F1 (H₁), Montero (H₂) y Arista F1 (H₃); los métodos para el cálculo del consumo de agua fueron el coeficiente dual (R₁) y el coeficiente único (R₂) y las modalidades de colocación de la cinta de riego fueron superficialmente (C₁) y enterrada (C₂) a una profundidad de 25 cm con relación a la superficie del terreno.

El enfoque del coeficiente único (R₂) para calcular la evapotranspiración del cultivo (ET_c) a partir de la evapotranspiración de referencia (ET₀), calculada con el método FAO Penman-Monteith combina los efectos de la

cm. The Tables 1 and 2 show the results of physical and chemical soil characteristics presented, these were used as reference to determine fertilization and irrigation scheduling.

In this study, three chile serrano hybrids, and four procedures to precisely control the water regime of chile grown with drip irrigation and plastic mulch were evaluated. These procedures included the application of two methods for calculating water consumption and two types of placement of the irrigation tract. The hybrids were Camino Real F1 (H₁), Montero (H₂) and Arista F1 (H₃); methods for calculating water consumption were the dual coefficient (R₁) and the single coefficient (R₂) and the methods of attaching the tract irrigation were surface (C₁) and buried (C₂) at a depth 25 cm relative to the ground surface.

The focus of the single coefficient (R₂) to calculate crop evapotranspiration (ET_c) from the reference evapotranspiration (ET₀), calculated with the FAO Penman-Monteith method combines the effects of crop transpiration, and soil evaporation in a single coefficient K_c, which integrates the differences in these two types of flow between the crop and the reference crop surface (FAO, 1998):

$$ET_c = K_c \cdot ET_0 \quad 1)$$

The focus of dual coefficient (R₁), the effects of crop transpiration and soil evaporation are determined separately. Two coefficients are applied: the basal crop coefficient (K_{cb}) to calculate transpiration and evaporation coefficient (K_e) for calculating evaporation occurs from the surface soil (FAO, 1998):

transpiración del cultivo, y la evaporación del suelo en un solo coeficiente K_c , el cual integra las diferencias de estos dos tipos de flujo entre el cultivo y la superficie del cultivo de referencia (FAO, 1998):

$$ET_c = K_c * ET_0 \quad 1)$$

En el enfoque del coeficiente dual (R_i), los efectos de la transpiración del cultivo y la evaporación del suelo se determinan por separado. Se aplican dos coeficientes: el coeficiente basal del cultivo (K_{cb}) para calcular la transpiración y el coeficiente de evaporación (K_e) para calcular la evaporación que ocurre desde la superficie del suelo (FAO, 1998):

$$ET_c = (K_{cb} + K_e) * ET_0 \quad 2)$$

Las láminas o dosis de riego se calcularon con el programa computacional DRIEGO, este determina las demandas de agua de los cultivos en línea y a tiempo real (Catalán *et al.*, 2013). El monitoreo de la humedad del suelo se efectuó mediante un sensor de reflectometría en el dominio temporal (TDR), de la compañía IMKO previamente calibrado para medir la humedad a los 15, 30, 45, 60 y 70 cm de profundidad del suelo. Se realizaron cinco mediciones a los 48, 56, 76, 90 y 96 días después del trasplante.

En lo referente al sistema de riego, se instaló un sistema por goteo en la modalidad de cintilla tipo “T-Tape 5/8” modelo W0508-12-450-00-A”, con separación entre goteros de 30 cm y gasto por gotero de 1 L h⁻¹. Luego se instaló el acolchado plástico de calibre 80, color negro con orificios a doble hilera, con una separación de 20 cm entre hileras y 30 cm entre plantas. El diseño experimental fue bloques completos al azar con cuatro bloques y un arreglo factorial 3 * 2 * 2, teniendo un total de 12 tratamientos. La unidad experimental consistió de una parcela de 6 m de largo por 4.5 m de ancho, en la cual se instalaron tres líneas regantes separadas a 1.5 m. Se establecieron dos hileras de plantas por línea regante para una densidad de 44 000 plantas por hectárea. El cultivo se estableció por trasplante (51 días después de la siembra).

La fertilización del cultivo se determinó con base en la capacidad de absorción de nutrimentos de las plantas por cada tonelada de fruto verde: 3 a 4 kg de nitrógeno, 0.7 a 1 kg de fósforo y 4 a 6 kg de potasio (Hegde, 1997; Lian *et al.*, 1997; Castellanos *et al.*, 2000; Azofeifa y Moreira, 2005). Se fertilizó para un rendimiento objetivo de 50 t ha⁻¹. El nitrógeno se dosificó en 16 fracciones iguales durante todo

$$ET_c = (K_{cb} + K_e) * ET_0 \quad 2)$$

The “sheets” or irrigation rates were calculated with the computer program DRIEGO, this determines the water demands of crops online and in real time (Catalán *et al.*, 2013). Monitoring soil moisture was made by a sensor in the time domain reflectometre (TDR), of the company IMKO, previously calibrated for measuring moisture at 15, 30, 45, 60 and 70 cm soil depth. Five measurements at 48, 56, 76, 90 and 96 days after transplantation were performed.

With regard to the irrigation system, a drip system streak mode was installed “T-Tape 5/8” model W0508-12-450-00-A” with separation of 30 cm between drippers and expense dropper 1 L h⁻¹. Then, installing the plastic mulch, calibre 80, black with holes in double rows with a spacing of 20 cm between rows and 30 cm between plants. The experimental design was a randomized complete block design with four blocks and a factorial arrangement of 3 * 2 * 2 with a total of 12 treatments. The experimental unit consisted of a plot of 6 m long by 4.5 m wide, in which three separate irrigation lines were installed 1.5 m. Two rows of plants per irrigator line to a density of 44 000 plants per hectare were established. The crop was established by transplantation (51 days after sowing).

Crop fertilization is determined based on the absorption capacity of plant nutrients per ton of green fruits: 3-4 kg of nitrogen, 0.7, 1 kg of phosphorus and 4 to 6 kg of potassium (Hegde, 1997; Lian *et al.*, 1997; Castellanos *et al.*, 2000; Azofeifa and Moreira, 2005). Fertilized for a target yield of 50 t ha⁻¹. Nitrogen is metered into 16 equal fractions throughout the crop cycle; phosphorus is applied along with the first five fractions of nitrogen, until the flowering stage. It was not fertilized with potassium for being available in sufficient quantities in the soil. Fertilization was initiated at 11 days after transplantation through the drip irrigation system using a venturi injector.

For controlling whiteflies (*Bemisia* spp.) and aphid (*Aphis* spp.) applications of Imidacloprid were performed with a dose of 1 L ha⁻¹. Spider mites (*Tetranychus urticae*) was controlled with Abamectin, with a dosage of 300 ml ha⁻¹. The prevention and control of root rot (*Phytophthora capsici*) was performed with Mancozeb and Trichoderma harzianum, with doses of 2.5 kg ha⁻¹ and 0.6 kg ha⁻¹, respectively.

The outcome variables of this study were: total green fruit yield (kg ha⁻¹); water use efficiency (kg of green fruit per m³ of water used); and fruit quality with reference

el ciclo del cultivo, el fósforo se aplicó junto con las primeras cinco fracciones de nitrógeno, hasta la etapa de floración. No se fertilizó con potasio por encontrarse disponible en cantidad suficiente en el suelo. La fertilización se inició a los 11 días después del trasplante a través del sistema de riego por goteo mediante un inyector Venturi.

Para el control de mosquita blanca (*Bemisia* spp.) y pulgón (*Aphis* spp.) se realizaron aplicaciones de Imidacloprid con una dosis de 1 L ha⁻¹. La araña roja (*Tetranychus urticae*) se controló con Abamectina, con una dosificación de 300 ml ha⁻¹. La prevención y control de la pudrición radicular (*Phytophthora capsici*) se efectuó con Mancozeb y Trichoderma harzianum, con dosis de 2.5 kg ha⁻¹ y 0.6 kg ha⁻¹ respectivamente.

Las variables respuesta de este estudio fueron: rendimiento total de fruto en verde (kg ha⁻¹); eficiencia de uso de agua (kg de fruto verde por m³ de agua utilizada); y calidad de frutos con referencia a su longitud, ancho y peso. El análisis estadístico se realizó con el paquete SAS (versión, 9.0), mediante análisis de varianza y pruebas de comparación de medias (Tukey, $\alpha = 0.05$).

El rendimiento total de fruto en verde presentó diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para los factores “híbrido” y “consumo de agua”; el factor “colocación de cintilla” mostró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) y ninguna de las interacciones mostró diferencias significativas. Los híbridos Camino Real (H₁) y Arista (H₃) superaron en 26 y 34% al rendimiento del híbrido Montero (H₂), respectivamente (Cuadro 3). En el factor “consumo de agua”, el rendimiento correspondiente al coeficiente dual (R₁) resultó 15% superior con respecto al rendimiento logrado con el uso del coeficiente único para determinar las láminas o dosis de riego. Por su parte, la cintilla de riego enterrada (C₂) produjo un rendimiento promedio que superó 8% el rendimiento correspondiente a la colocación superficial de cintilla (C₁).

to its length, width and weight. Statistical analysis was performed with the SAS package (version 9.0), using analysis of variance and mean comparison tests (Tukey, $\alpha = 0.05$).

The total green fruit yield showed highly significant differences ($p \leq 0.01$) for “hybrid” factors and “water consumption”; the “streak placement” factor showed significant difference ($p \leq 0.05$) and no interaction showed significant differences. The hybrid Camino Real (H₁) and Arista (H₃) exceeded 26 and 34% the yield of the hybrid Montero (H₂) respectively (Table 3). In the “water consumption” factor, the corresponding yield to the dual coefficient (R₁) was 15% higher than the efficiency achieved with the use of single coefficient to determine the sheets or irrigation rate. Meanwhile, the tract of buried irrigation (C₂) produced an average yield that exceeded 8% corresponding to the surface placement tract (C₁).

The best yield was achieved with treatment H₃R₁C₂, which reached 49.6 t ha⁻¹, almost the same yield target of 50 t ha⁻¹ raised in the present study. This treatment also exceeded the average return 86% of the State of Coahuila and the States with higher yields nationally (Financiera Rural, 2012).

With regard to the efficiency of water use (USA), crop response followed the same pattern as the yield (Table 3).

The Figure 1 shows the variation of daily water consumption (ET_c) or irrigation doses calculated and applied in the R₁ and R₂ treatments. Although ET_c values for the entire cycle were similar in both treatments (87 cm for R₁ and 84 cm for R₂), their distribution was different. Higher values of R₂ were estimated in the first 50 days and larger values for R₁ during the rest of the crop cycle.

Cuadro 3. Rendimiento de chile en verde y eficiencia de uso del agua (EUA).

Table 3. Yield of green chile and water use efficiency (USA).

Factor	Niveles de estudio	Rendimiento (t ha ⁻¹)		EUA (kg m ⁻³)	
Híbridos	Camino Real F1 (H ₁)	41.6	a	4.85	a
	Montero (H ₂)	32.9	b	3.89	b
	Arista F1 (H ₃)	44.2	a	5.16	a
Consumo de agua	Coef. dual (R ₁)	42.4	a	4.86	a
	Coef. único (R ₂)	36.7	b	4.36	b
Colocación de cintilla	Superficial (C ₁)	37.9	b	4.43	b
	Enterrada (C ₂)	41.1	a	4.8	a

Medias con letras iguales en un mismo factor no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

El rendimiento máximo se logró con el tratamiento $H_3R_1C_2$, el cual alcanzó las 49.6 t ha^{-1} , prácticamente igual al rendimiento objetivo de 50 t ha^{-1} planteado en el presente estudio. Este tratamiento superó también 86% al rendimiento medio del estado de Coahuila y al de los estados con mayores rendimientos a nivel nacional (Financiera Rural, 2012).

Con respecto a la eficiencia de uso del agua (EUA), las respuestas del cultivo siguieron el mismo patrón que la variable rendimiento (Cuadro 3).

La Figura 1 muestra la variación del consumo diario de agua (ET_c) o dosis de riego calculadas y aplicadas en los tratamientos R_1 y R_2 . Aun cuando los valores de ET_c para todo el ciclo resultaron similares en los dos tratamientos (87 cm para R_1 y 84 cm para R_2), su distribución fue distinta. Se estimaron valores mayores para R_2 en los primeros 50 días y valores mayores para R_1 durante el resto del ciclo del cultivo.

Los valores mayores de rendimiento y EUA del tratamiento R_1 sobre el R_2 se debieron a una mejor distribución de las láminas de riego calculadas con el coeficiente dual, las cuales cubrieron plenamente los requerimientos hídricos del cultivo en las etapas de floración y fructificación (Figura 1). La sobreestimación de ET_c por el coeficiente único en las primeras etapas del cultivo y su posterior subestimación fue también observada en el cultivo de cebolla por López *et al.* (2009). Esto ratifica la superioridad del enfoque del coeficiente dual sobre el coeficiente único o del coeficiente constante, generalmente utilizado en otros estudios para determinar evapotranspiración (Miranda *et al.*, 2006; Yaghi *et al.*, 2013), sobre todo cuando se utiliza información climática en tiempo real.

La Figura 2 ilustra la variación del contenido volumétrico de agua promedio en el perfil del suelo (0-70 cm), medido puntualmente durante los primeros 100 días después del trasplante (ddt), en cada uno de los tratamientos de riego. El valor de esta variable se mantuvo alrededor de 22 g cm^{-3} en el tratamiento del consumo de agua con coeficiente dual (R_1), lo cual indica estabilidad o equilibrio entre las entradas (riego) y salidas (evapotranspiración) del balance de agua en el perfil del suelo. En contraste, en el tratamiento del consumo de agua con coeficiente único (R_2), el contenido de agua disminuyó por debajo de dicho valor a partir de los 56 ddt debido al riego deficitario impuesto por las menores láminas de riego aplicadas en este tratamiento después de los 50 ddt. Esta condición indujo un estrés hídrico al cultivo, lo cual fue reflejado por la menor EUA observada en el tratamiento R_2 .

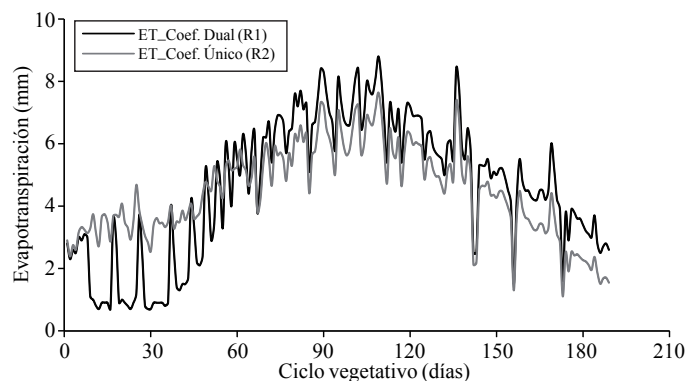


Figura 1. Variación de los consumos de agua a través del ciclo del cultivo.

Figure 1. Change in water consumption by the crop cycle.

The highest values of yield and EUA of the treatment R_1 on R_2 was due to a better distribution of water depths calculated with the dual coefficient, which fully covered the crop water requirements in the stages of flowering and fruiting (Figure 1). The overestimation of ET_c for the single coefficient in the early stages of cultivation and subsequent underestimation was also observed in the onion crop by López *et al.* (2009). This confirms the superiority of the dual approach of the coefficient on the single coefficient or constant coefficient, often used in other studies to determine evapotranspiration (Miranda *et al.*, 2006; Yaghi *et al.*, 2013), especially when used climate information on real time.

The Figure 2 illustrates the variation of the average volumetric water content in the soil profile (0-70 cm) measured on time during the first 100 days after transplanting (DAT) in each of the irrigation treatments. The value of this variable around 22 g cm^{-3} remained in the treatment of water consumption with dual coefficient (R_1), indicating stability or balance between inputs (irrigation) and outputs (evapotranspiration) of water balance in the soil. In contrast, in the treatment of water consumption with single coefficient (R_2), the water content decreased below this value from 56 DAT due to deficit irrigation by lower levels of water applied in this treatment after 50 ddt. This condition led to growing water stress, which was reflected by the lower EUA observed in treatment R_2 .

The use of the buried tract, significantly increased yield of the crop and the EUA. This was due to a better distribution and the availability of water and nutrients in the soil in relation to the surface streak, fundamental causes cited in other studies (Bella and Wilcox, 1985; Ayars *et al.*, 1999).

El uso de la cintilla enterrada incrementó significativamente el rendimiento y la EUA del cultivo. Esto se debió a una mejor distribución y disponibilidad del agua y los nutrientes en el suelo en relación con la cintilla superficial, causas fundamentales citadas en otros estudios (Bhella y Wilcox, 1985; Ayars *et al.*, 1999).

La longitud, ancho y peso del fruto presentaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) en el factor “híbrido” (Cuadro 4). El híbrido Arista (H_3) presentó los mayores promedios de longitud, ancho y peso del fruto con valores promedio de 7.65 cm, 1.51 cm y 8.28 g respectivamente. Estos valores se encuentran dentro de los correspondientes rangos de 6.2-8.7 cm, 1.4-1.9 cm y 6.9-12.2 g reportados por Vásquez *et al.* (2010) para los valores promedio de longitud, ancho y peso del fruto de 19 variedades de chile serrano. El factor “consumo de agua” solamente mostró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en las variables longitud y peso de fruto. Por otra parte, la calidad del fruto no fue afectada por el factor “colocación de cintilla”.

Cuadro 4. Promedios de longitud (LF), ancho (AF) y peso del fruto (PF).
Table 4. Average length (LF), width (AF) and fruit weight (FW).

Factor	Niveles de estudio	LF (cm)		AF (cm)		PF (g)	
Híbridos	Camino Real F1 (H_1)	5.54	B	1.34	c	4.69	b
	Montero (H_2)	4.91	C	1.46	b	4.99	b
	Arista F1 (H_3)	7.65	A	1.51	a	8.28	a
Consumo de agua	Coef. dual (R_1)	6.1	A	1.45	a	6.15	a
	Coef. único (R_2)	5.97	B	1.43	a	5.83	b
Colocación de Cintilla	Superficial (C_1)	6.01	A	1.43	a	5.88	a
	Enterrada (C_2)	6.06	A	1.45	a	6.1	a

Medias con letras iguales en un mismo factor no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Tomando en cuenta el rendimiento logrado con el mejor tratamiento, se puede esperar un nivel importante de competitividad en la producción de chile serrano con la tecnología probada. En el período 2008-2012, el precio medio rural del chile fresco en la Región Lagunera fue de \$3 500.00 por tonelada (SIAP, 2013). Este valor garantiza un margen de utilidad mínimo de \$86 800.00 por hectárea, ya que podría destinarse hasta la mitad del rendimiento para cubrir los costos de producción, esta rentabilidad podría ser aún mayor si el sistema de riego se amortiza en varios ciclos de cultivo. La durabilidad del sistema, en gran medida depende de la calidad del agua y de un buen programa de mantenimiento (O'Brien *et al.*, 1998; Lamm *et al.*, 2002).

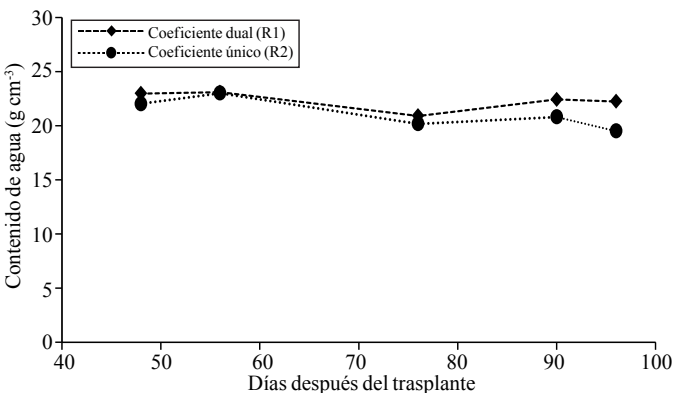


Figura 2. Variación del contenido volumétrico de agua en el suelo.
Figure 2. Variation of the volumetric water content in soil.

The length, width and fruit weight showed highly significant differences ($p \leq 0.01$) in the “hybrid” factor (Table 4). The hybrid Arista (H_3) had the highest average length, width and fruit weight with average values of 7.65 cm, 1.51 cm and 8.28 g, respectively. These values are within their respective ranges of 6.2-8.7 cm, 1.4-1.9 cm and 6.9-12.2 g

reported by Vásquez *et al.* (2010) for the mean values of length, width and weight of the fruit of 19 varieties of chile serrano. The factor “water consumption” only showed significant difference ($p \leq 0.05$) in the variables length and weight of fruit. Moreover, fruit quality was not affected by the “streak placement” factor.

Considering the yield achieved with the best treatment, we can expect a high level of competitiveness in the production of chile serrano with proven technology. In 2008-2012, the rural price of fresh chili in the Lagunera region was \$3 500.00 per ton (SIAP, 2013). This value guarantees a minimum profit margin of \$86 800.00 per hectare, and that could be used up to the half yield to cover the costs of production, this return

Conclusión

El uso de híbridos mejorados y el control del régimen hídrico mediante: el riego por goteo, acolchado plástico y el cálculo preciso de las demandas de agua fueron determinantes para lograr altos niveles de rendimiento, eficiencia de uso del agua y calidad del fruto en el cultivo del chile serrano. Los máximos niveles de rendimiento y eficiencia de uso del agua fueron de 49.6 t ha⁻¹ y 5.7 kg m⁻², estos se lograron con el híbrido Arista F1, el coeficiente dual para determinar el consumo de agua y la cintilla de riego enterrada.

Literatura citada

- Ayars, J. E.; Phene, C. J.; Hutmacher, R. B.; Davis, K. R.; Schoneman, R. A.; Vail, S. S. and Mead, R. M. 1999. Subsurface drip irrigation of row crops: a review of 15 years of research at the water management research laboratory. *Agric. Water Management* 42:1-27.
- Azofeifa, A. y Moreira, M. A. 2005. Absorción y distribución de nutrimentos en plantas de chile dulce (*Capsicum annuum* C. V. UCR 589) en Alajuela, Costa Rica. *Agron. Costarricense*. 29(1):77-84.
- Bhella, H. S. and Wilcox, G. E. 1985. Nitrogen fertilization and muskmelon growth, yield and nutrition. *In: proceedings of the third international drip/trickle irrigation congress*, Fresno, CA. Nov. 18-21, 1985. ASAE. 339-345 pp.
- Castellanos, J. Z.; Uvalle, B. S. X. y Aguilar, S. A. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. Colección INCAPA. 2ª (Ed.). San Miguel de Allende, Guanajuato. 226 p.
- Catalán, V. E. A.; Villa C. M.; Inzunza, I. M. A.; Román, L. A.; Delgado, R. G. y Barrios, J. L. G. 2013. Sistema en línea para la programación del riego en tiempo real en Coahuila. *In: Memoria de la 25ª Semana internacional de agronomía*. Martínez, R. J. J.; Puentes, G. J.; Vázquez, N. M. J. y Ríos, R. S. (Eds.). Gómez Palacio, Durango, México. 433-440 pp.
- Financiera Rural. 2012. Chile, producción nacional. <http://www.inforural.com.mx/spip.php?article7381>.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Rome, Italy. 135-156 pp.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2008. Propuestas de nuevos trabajos para normas del CODEX sobre el chile fresco y el ajo. *In: 14ª Reunión del comité del CODEX sobre frutas y hortalizas frescas*. México, D. F. 16-18 pp.
- Hegde, D. M. 1997. Nutrient requirements of solanaceous vegetable crops. Food and Fertilizer Technology Center. Extension Bulletin 441. Taiwan Agricultural Research Institute. Taiwan. <http://www.agnet.org/library.php?func=view&id=20110801133428>.
- Inzunza, I. M. A.; Mendoza, M. S. F.; Catalán, V. E. A.; Villa, C. M. M.; Sánchez, C. I. y Román, L. A. 2007. Productividad del chile jalapeño en condiciones de riego por goteo y acolchado plástico. *Rev. Fitotec. Mex.* 30:429-436.
- would be even higher if the irrigation system is amortized over several crop cycles. The durability of the system largely depends on the quality of water and a good maintenance program (O'Brien *et al.*, 1998; Lamm *et al.*, 2002).
- ## Conclusions
- The use of improved hybrids and control water regime through: drip irrigation, plastic mulch and accurate calculation of water demand were quite important for achieving high levels of yield, water use efficiency and fruit quality in growing chile serrano. The maximum levels of yield and water use efficiency were 49.6 t ha⁻¹ and 5.7 kg m⁻², these were achieved with Arista F1 hybrid, the dual coefficient to determine water consumption and buried irrigation tract.
- End of the English version*
-
- Lamm, F. R.; O'Brien, D. M.; Rogers, D. H. and Dumler, T. J.. 2002. Sensitivity of center pivot sprinkler and SDI economic comparisons. ASAE Paper No. MC02-201. ASAE, St. Joseph MI. 10 p.
- Lian S.; Wang, C. H. and Lee, Y. C. 1997. Efficient nitrogen use in vegetable production II. Analysis of fertilizer response and efficiency in vegetable production in the hsilo area, Taiwan. Food and Fertilizer Technology Center. Extension Bulletin 443. Taiwan Agricultural Research Institute. Taiwan. <http://www.agnet.org/library.php?func=list&class=type&type=4>.
- López, U.R.; Martín, F. S. O.; Montoro, A. and López, P. F. 2009. Single and dual crop coefficients and water requirements for onion (*Allium cepa* L.). *Agric. Water Management*. 96:1031-1036.
- Mendoza, M. S. F.; Inzunza, I. M. A.; Morán M. R.; Sánchez, C. I.; Catalán V. E. A. y Villa, C. M. M. 2005. Respuesta de la sandía al acolchado plástico, fertilización, siembra directa y trasplante. *Rev. Fitotec. Mex.* 28:351-357.
- Mendoza, M. S. F.; Inzunza, I. M. A.; Catalán V. E. A.; Villa, C. M. M. y Román L. A. 2006. Rendimiento de brócoli con acolchado plástico y criterios de riego por cintilla. *Revista AGROFAZ* 6:205-210.
- Miranda, F. R.; Gondim, R. S. and Costa, C. A. G. 2006. Evapotranspiration and crop coefficients for tabasco pepper (*Capsicum frutescens* L.). *Agric. Water Management*. 82:237-246.
- O'Brien, D. M., D. H. Rogers, F. R. Lamm, and G. A. Clark. 1998. An economic comparison of subsurface drip and center pivot sprinkler irrigation systems. *Appl. Engr. Agric.* 14(4):391-398.
- Rincón, S. y Zavala, G. F. 2000. Recursos filogenéticos de México para la agricultura. Informe Nacional. SNICS y SOMEFI A. C. Chapingo, Estado de México. 16-21 pp.

- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) 2010. Un panorama del cultivo del chile. <http://www.siap.gob.mx/images/stories/infogramas/100705-monografia-chile.pdf>.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2013. Cierre de la producción agrícola por cultivo. (consultado julio, 2013). http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350.
- Vázquez, G. E.; Ramírez, M. M.; Mata V. H.; Flores, R. A.; Tejacal, I. A. 2010 Atributos de calidad y vida de anaquel de frutos de cultivares de chile serrano en México. *Rev. Fitotec. Mex.* <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61014255014>.
- Yaghi, T.; Arslan, A. and Naoum, F. 2013. Cucumber (*Cucumis sativus*, L.) water use efficiency (WUE) under plastic mulch and drip irrigation. *Agric. Water Management*. 128:149-157.