

## **PRODUCTIVIDAD DEL AGUA EN CHILE CON FERTIRRIGACION, GOTEO Y ACOLCHADO DEL SUELO**

Horacio Mata Vázquez<sup>4</sup>, Roberto Núñez Escobar<sup>5</sup>, José Luís Aguilar Acuña<sup>6</sup>, Prometeo Sánchez García<sup>2</sup>

### **RESUMEN**

Ante la escasez y baja eficiencia de uso del agua en la producción agrícola, se realizó un trabajo de investigación con el objetivo de evaluar un sistema de fertirrigación con riego presurizado que incrementara la eficiencia en el uso del agua y fertilizantes para la producción de chile serrano. Se condujo un trabajo de investigación en el Colegio de Postgraduados *campus* San Luís Potosí, donde se utilizó un sistema de riego por goteo con y sin acolchado plástico del suelo con cuatro tratamientos de fertirrigación, comparados con el sistema tradicional de riego de superficie por surcos y arreglados en un diseño de parcelas divididas. El cálculo de los volúmenes de agua se realizó utilizando el método del cociente de evaporación y los factores de kc determinados por la FAO (1979). El rendimiento promedio de los tratamientos acolchados ( $55,006 \text{ kg ha}^{-1}$ ) superó con 44% a los tratamientos sin acolchar ( $38,204 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y estos en 184% al sistema tradicional de producción de chile serrano con fertilización al suelo y riego por gravedad ( $13,416 \text{ kg ha}^{-1}$ ). El IPA con la tecnología de producción de fertirrigación y acolchado del suelo ( $4.4 \text{ kg de materia seca m}^3 \text{ de agua aplicada}$ ) superó en 160% al obtenido en el suelo sin acolchar ( $1.7 \text{ kg m}^3$ ) y este en 215% al obtenido con el testigo tradicional de producción con riego de superficie ( $0.54 \text{ kg m}^3$ ) en surcos, durante la época de mayor producción de materia seca.

**Palabras clave:** Productividad del agua, eficiencia de riego y fertilizantes, Acolchado de suelos, Fertirrigación de chile, consumo de agua en Chile.

### **INTRODUCCIÓN.**

El promedio de la precipitación en México es de 777 mm anuales y su distribución es muy irregular. Por ejemplo, más de la mitad del territorio mexicano localizado al norte y en el altiplano recibe sólo el 9% de la precipitación media anual, pero concentra al 75% de la población del país, al 70% del PIB industrial y al 40% de las tierras agrícolas de temporal. En tanto, casi el 70% de la precipitación anual se da en el sureste de México, donde vive el 24% de la población y la industria es incipiente, excepto la relacionada con el petróleo. En general, las lluvias se concentran en un periodo restringido que pocas veces se extiende más allá de junio a septiembre. México recibe  $1,570 \text{ km}^3$  de agua por precipitación y pierde por evaporación  $1,064 \text{ km}^3$ , lo que establece la oferta de agua a nivel nacional en  $473 \text{ km}^3$ . El volumen total consumido tanto de aguas superficiales como subterráneas asciende a  $73 \text{ km}^3$ , de los cuales el mayor porcentaje le corresponde al sector agrícola con  $61 \text{ km}^3$  (83%), y después al uso doméstico con  $8.5 \text{ km}^3$  (12%). La industria utiliza  $2.5 \text{ km}^3$  (3%), y en acuicultura intensiva y otros se invierte  $1.4 \text{ km}^3$  (2%). A pesar de ser el más grande consumidor de agua del país (83%), el sector agrícola contribuye sólo con el

3% del PIB nacional, mientras que la industria manufacturera, minera y de construcción aporta casi el 30% del PIB y consume sólo el 3% del agua (Centro de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable, 1998).

Por otra parte, la fertilización es una de las practicas que mayor polémica causan entre los productores, aunque se ha observado que generalmente tienen mayor éxito en la producción de Chile quienes utilizan cantidades masivas de elementos mayores del orden de 500 kg ha<sup>-1</sup> de N, 200-400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 500 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, en la mayoría de los casos con formulas desbalanceadas. En cultivos intensivos como el Chile, el costo de fertilizantes no incide grandemente en la relación beneficio del cultivo, por lo que es deseable encontrar la máxima respuesta biológica de la nutrición que incremente la producción y calidad de fruto.

Así mismo, ante la escasez y baja eficiencia de uso del agua de riego se considera indispensable generar prácticas de manejo que integren factores de suelo, clima y genotipos que permitan al cultivo manifestar su máximo potencial de rendimiento en campo. Ante esta problemática, es previsible que durante los próximos años se insista sobre la necesidad de eficientar el uso del agua en la producción agrícola, lo cual es posible lograr mediante la implementación de sistemas de riego presurizados y fertirrigación que ofrecen entre un 70 a 90% de eficiencia en el uso del agua de riego y fertilizantes. Por lo que en el presente trabajo se presentan resultados sobre la productividad del agua en la producción de Chile mediante el uso de la fertirrigación en un sistema de riego por goteo.

## MATERIALES Y MÉTODOS.

Se estableció un trabajo de investigación de campo en el área experimental del Colegio de Postgraduados *Campus* San Luis Potosí, ubicado en la ciudad de Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, a 22°38' de Latitud Norte y 101°42' de Longitud Oeste, y a una altitud de 2099 msnm. Su clima corresponde a un semiárido BS<sub>0</sub>kw (e), con lluvias en verano (García, 1981), y precipitación promedio anual de 350 mm distribuida de manera irregular entre junio y octubre, y una frecuencia de granizadas de 0 a 1 días anuales (INEGI-SPP, 1983); la temperatura media anual oscila entre los 12 y 18°C. Los suelos clasifican como Aridisol calcidis, haplocalcidis, petronodic haplocalcidis (Soil Survey Staff, 1995); son suelos de textura media con un horizonte petrocálcico a menos de 50 cm de profundidad, y presencia de carbonatos en una capa a 60 cm de profundidad; son de origen aluvial, y de uso limitado para la agricultura.

La fertilización de presembrado, se aplicó antes del trasplante con 40 kg ha<sup>-1</sup> de N, 16 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 20 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O al suelo, que equivalen al 20% de la dosis recomendada en el sistema tradicional de producción, y el resto se inyectó a través del sistema de riego. Como fuentes de fertilizantes sólidos para la fertilización básica al suelo, se utilizó: KNO<sub>3</sub> (13% N + 44% K<sub>2</sub>O), DAP (18% N + 46 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), y (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> (20.5% N), mientras que a través del sistema de riego se inyectaron: NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> (33.5% N), H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (60% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y KNO<sub>3</sub>. El ácido fosfórico además de utilizarse como fuente de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, contribuyó a disminuir el pH del agua de riego de 7.3 a 5.9.

El sistema de riego utilizado fue un sistema presurizado por goteo, con goteros de PVC en línea a 30 cm de separación y con un gasto de  $1.0 \text{ L hr}^{-1}$  por gotero. Las líneas de goteo se ubicaron en el “lomo” del surco, colocando una línea por surco, aproximadamente debajo de la hilera de plantas. La distribución de las líneas regantes se realizó con base en un diseño propuesto por Papadopoulos y Eliades (1987) con fines de investigación en fertirrigación, cuya característica es la aplicación de diferentes dosificaciones de soluciones fertilizantes a través de dos líneas de inyección independientes, conectadas a un cabezal de válvulas con dos inyectores tipo venturi (Mazzei mod. 484). Por medio de uno de ellos se suministró una solución nutritiva común a todos los tratamientos, y por el otro se inyectaron las soluciones con dosificaciones variables.

La calendarización del riego por goteo se determinó con base en el uso del evaporímetro clase “A” (Locascio y Smajstrla, 1989) para calcular la humedad consumida por el cultivo. El cálculo de los volúmenes de agua se realizó considerando la evaporación diaria registrada en un tanque evaporímetro (método del cociente de evaporación), la cual se corrigió con el factor de tanque (0.8), para luego multiplicar el resultado por el coeficiente de desarrollo del cultivo (FAO, 1979). El coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), que relaciona la evapotranspiración de referencia ( $E_{to}$ ) con la evapotranspiración máxima ( $E_{tm}$ ) es 0.4 después del trasplante, 0.95 a 1.1 durante el periodo de plena cobertura del suelo y, para los chiles verdes de 0.8 a 0.9 durante el periodo de cosecha (FAO, 1979), y por último se dividió entre la eficiencia del sistema de riego por goteo (0.9), con lo cual se determinó la lámina de riego, que al multiplicarla por el área a regar, resultó en el volumen de agua a aplicar.

La mecánica de la fertirrigación consistió en aplicar solo agua al cultivo los primeros 15 minutos de riego con el fin de uniformizar la presión de aplicación, para luego aplicar el ácido fosfórico en el primer tercio del tiempo de riego estimado, después de lo cual se procedió a aplicar los tratamientos de fertirrigación (2o. y 3er. tercios del tiempo de riego), para al final aplicar nuevamente 15 minutos de agua sola y desalojar todo el fertilizante del sistema. Los factores probados fueron: Acolchado plástico del suelo y niveles de fertirrigación con N y K. El diseño experimental utilizado fue de parcelas divididas con arreglo de tratamientos en bloques al azar. La parcela grande fue el acolchado plástico y la parcela chica los niveles de fertirrigación.

Las características de los factores fueron: A) Acolchado plástico: a1) con acolchado, a2) sin acolchado; y B) Fertilización con los siguientes niveles de concentración: 50 y 100 ppm de nitrógeno; 40 ppm de fósforo y 100 y 200 ppm de potasio; de cuya combinación resultaron cuatro tratamientos: b1) 50 - 40 - 100; b2) 50 - 40 - 200; b3) 100 - 40 - 100 y b4) 100 - 40 - 200. Las cantidades aplicadas diariamente variaron en función de la evaporación registrada en un evaporímetro. Así mismo, se estableció un testigo con el manejo tradicional del cultivo (sin acolchar) con riego de superficie por surcos, el cual sólo incluyó fertilización al suelo (fórmula 200-80-00). Los tratamientos mencionados se repitieron cuatro veces, el suelo de las repeticiones 1 y 3 se acolchó con plástico coextruido (negro con plateado, con el color negro hacia arriba), y las repeticiones 2 y 4 estuvieron sin acolchar. La parcela útil fue de cuatro surcos de 10 m de longitud y a 1.0 m de separación, con una distancia

entre emisores de 0.5 m, estableciéndose una planta por gotero. La variedad de chile serrano utilizada fue la Tampiqueño-74.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

**Producción de fruto.** La producción total de fruto de chile (Cuadro 1), obtenida mediante la cosecha de seis cortes en el presente trabajo, se analizó como parcelas divididas, donde la condición de acolchado constituyó la parcela grande, y los tratamientos de fertilización las parcelas chicas. El rendimiento promedio de los tratamientos acolchados ( $55,003 \text{ kg ha}^{-1}$ ) superará con 44% a los tratamientos sin acolchar ( $38,204 \text{ kg ha}^{-1}$ ), esta diferencia resultó altamente significativa ( $\alpha = 0.05$ ).

Para los tratamientos de fertirrigación y su interacción acolchado por fertirrigación no existieron diferencias significativas, debido a los altos niveles de fertilización utilizados. ). El rendimiento promedio de los tratamientos acolchados ( $55,006 \text{ kg ha}^{-1}$ ) superó con 44% a los tratamientos sin acolchar ( $38,204 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y estos en 184% al sistema tradicional de producción de chile serrano con fertilización al suelo y riego por gravedad ( $13,416 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Mientras que la producción media de la tecnología de fertigación con riego por goteo con y sin acolchado plástico del suelo ( $46,603 \text{ kg ha}^{-1}$ ) superó en 247% al sistema tradicional de producción de chile con fertilización al suelo y riego por gravedad ( $13,416 \text{ kg ha}^{-1}$ ), lo que coincide con los resultados reportados por Crespo *et al* (1988) para *Capsicum cv. Cubanella*; Quezada *et al.* (1991) en pepino; Ibarra y Rodríguez (1991) en tomate, pepino, sandía y algodón, y Arellano *et al.* (1993) en Calabacita y sandía.

Cuadro 1. Rendimiento de fruto de chile serrano desarrollado con cuatro dosis de fertigación y acolchado plástico del suelo.

	Rendimiento ( $\text{kg ha}^{-1}$ )Corte No.						
Acolchar	1	2	3	4	5	6	Total
Con	3701	8969	15113	15307	9021	2892	55003 a
Sin	4444	5844	11728	9784	5228	1176	38204 b
Promedio	4072 bc	7406 b	13420 a	12546 a	7125 b	2034 c	46603
Testigo	1440	2360	5420	1992	1668	576	13416 c

\* Cifras seguidas de letras distintas en la fila o columna, denota diferencia estadística significativa entre cortes (Tukey<sub>0.05</sub>).

C.A. = con acolchado;

S.A. = Sin acolchar.

La comparación de los promedios de cortes mediante la prueba de Tukey<sub>0.05</sub>, (Cuadro 1) muestra una mayor producción de fruto en los cortes 3 y 4 ( $13,420$  y  $11,2545 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente) que superaron estadísticamente a los cortes 2 y 5 ( $7,406$  y  $7,124 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y éstos a su vez resultaron superiores a los cortes 1 y 6 ( $4,072$  y  $2,034 \text{ kg ha}^{-1}$ ). La menor producción de los cortes 1 y 6, se debió a que en el corte 1 los frutos generalmente provienen de la primera floración, la cual se produce cuando la planta muestra poca ramificación; por otra parte el sexto corte fue afectado por una helada temprana, que provocó aborto de flores y raquíco desarrollo de frutos.

**Consumo de agua.** Las necesidades totales de agua (ETm) del cultivo de chile (*Capsicum annum*) según FAO (1979), son del orden de 600 a 900 mm y hasta 1,250 mm para periodos vegetativos largos con varios cortes de fruto. El coeficiente del cultivo (Kc) que relaciona la evapotranspiración de referencia (ETo), con la evapotranspiración máxima (ETm) es 0.4 después del trasplante; 0.95 a 1.1 durante el periodo de plena cobertura del suelo; y para chiles verdes, de 0.8 a 0.9 en el momento de los cortes de frutos o recolección.

En el Cuadro 2, se presentan las láminas (volúmenes) de agua ( $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) aplicadas en cada etapa de muestreo considerada, para riego por goteo y para riego por gravedad. La lámina de agua total aplicada en el riego por gravedad coincidió con las especificadas por FAO (1979) para el cultivo del chile, mientras que la aplicada en riego por goteo sin acolchado de suelo fue 24% menor a los 60 cm referidos como nivel más bajo por esta fuente. Así mismo, la lámina aplicada en el riego por goteo con acolchado de suelo resultó 50% más baja que los 60 cm de lámina de riego determinados como necesarios para el desarrollo del cultivo de chile por dichos autores; esto debido a la mayor eficiencia del uso del agua de riego por el sistema de riego por goteo, al aplicar el agua únicamente en el área de suelo ocupada por las raíces del cultivo, mayor conservación y mejor distribución de la humedad en el suelo, así como al efecto del acolchado plástico que minimizó la evaporación del agua de la superficie del suelo y contribuyó a su conservación.

El mayor volumen diario de agua aplicado al cultivo de chile correspondió a la etapa de 56 a 70 días después del trasplante, que es cuando se registró un crecimiento acelerado de las plantas previo a la floración y fructificación del cultivo, tanto en riego por goteo (0.27 y 0.45  $\text{cm día}^{-1}$  para acolchado y sin acolchar respectivamente) como en gravedad (0.92  $\text{cm día}^{-1}$ ), mayor en este último debido a las pérdidas por conducción y distribución de agua de riego. Por otra parte la lámina de riego aplicada mediante el riego por goteo con y sin acolchado plástico del suelo, resultó 56% (30.06 cm) y 35% (45.55 cm) menor respectivamente, en relación a la aplicada en el riego por gravedad (69.4 cm).

**Índice de productividad del agua (IPA) en fertirrigación.** Este índice puede expresarse como la cantidad de materia fresca, seca o de producto aprovechable de un vegetal, producida por una unidad de volumen de agua, (generalmente un metro cúbico), o bien, como la cantidad de agua necesaria para producir una unidad de material vegetal. En el Cuadro 2, se muestra el IPA expresado en kg de biomasa por  $\text{m}^3$  de agua aplicada. Se observó que los valores más bajos se registraron en la primera etapa (0-55 DDT) para los tres casos debido a la menor cantidad de biomasa y la menor acumulación de materia seca del cultivo, producida en la etapa de establecimiento y desarrollo inicial del cultivo. Mientras que en la etapa de los 85 a 100 DDT (floración y fructificación), ocurrieron los mayores índices de productividad del agua en las tres condiciones, siendo los tratamientos acolchados los que mostraron valores de hasta 4.41  $\text{kg m}^{-3}$  de IPA superando en un 160% a los tratamientos sin acolchar (1.70  $\text{kg m}^{-3}$ ), y éstos en un 215% al testigo con riego por gravedad (0.54  $\text{kg m}^{-3}$ ).

Cuadro 2. Volumen de agua aplicado, materia seca e índice de productividad del agua (IPA) en chile serrano desarrollado con fertigación y acolchado de suelo.

Etapa Fenológica (DDT)	Agua aplicada ( $m^3 ha^{-1}$ )			Materia seca ( $kg ha^{-1}$ )			IPA ( $kg m^{-3}$ )		
	Acolchado		Gravedad	Acolchado		Gravedad	Acolchado		Gravedad
	Con	Sin		Con	Sin		Con	Sin	
0 - 55	1089	1362	2690	146	136	49.2	0.13	0.10	0.02
56 - 70	407	678	1380	578	416	146.8	1.42	0.61	0.11
71 - 85	350	582	620	566	492	177.0	1.62	0.84	0.28
85 - 100	284	473	610	1254	806	329.0	4.41	1.70	0.54
100 - 160	876	1460	1630	844	792	838.0	0.96	0.54	0.51
Total	3006	4555	6930						

IPA. Índice de productividad del agua

La etapa con los mayores índices de productividad del agua en ambas condiciones de acolchado (alrededor de los 100 DDT) coincide con el 3o. y 4o. cortes de fruto (cuadro 1), que resultaron los más productivos, lo que sugiere que ésta es una etapa crítica de abastecimiento de agua para la producción de fruto de chile.

Con estos resultados se evidencia el potencial del riego por goteo con fertigación con relación al testigo con riego por gravedad, así como la bondad del acolchado plástico con fertigación para las condiciones del Altiplano Potosino; esta región se caracteriza por su clima frío, debido a su altitud (2,100 msnm) por lo que el acolchado del suelo, proporciona una mayor acumulación de calor en el suelo, con respecto al testigo del suelo sin acolchar. Así mismo, se obtuvo una mayor acumulación de la humedad y una mejor distribución de la misma en el perfil del suelo, por lo que se dispuso de humedad suficiente para contrarrestar la retención de agua que ejercen las sales, y las partículas del suelo, y así cumplir con la demanda de agua del cultivo.

Durante el desarrollo del cultivo se observó que después de infiltrarse el agua de riego en el suelo sin acolchar, aparecía una capa seca en la superficie del suelo, específicamente en la parte superior de los surcos, mientras que en los tratamientos acolchados, esa capa superficial y el surco total permaneció húmedo; por lo que la planta obtuvo con poco esfuerzo agua y nutrientes, utilizando la energía economizada en la producción de materia seca en una forma más eficiente.

En conclusión, se puede afirmar que el acolchado plástico del suelo favoreció al cultivo de chile para la obtención de altos rendimientos, ya que la producción obtenida con fertigación y acolchado superó estadísticamente la producción promedio obtenida con la fertigación sin acolchado del suelo. Así mismo, la tecnología de fertigación superó en promedio con más de 300% el rendimiento del testigo tradicional de producción. El IPA

con la tecnología de producción de fertirrigación y acolchado del suelo superó en 160% al obtenido en la condición de suelo sin acolchar y en más de 700% al IPA obtenido con el testigo tradicional de producción con riego de superficie en surcos.

## REFERENCIAS

- Arellano M.,A., L. Ibarra J., A. Maldonado J. y A. Cabello J. 1993. Efecto del acolchado y las cubiertas flotantes en el desarrollo y rendimiento de calabacita y sandía. In: Memoria V Congreso Nacional de Horticultura de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas A.C. Veracruz, Ver., México.
- CESPEDES, 1998. Eficiencia y uso sustentable del agua en México. Centro de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable. Consejo Coordinador Empresarial. <http://www.cce.org.mx/cespedes>. Revistas CESPEDES Oct./Nov. 98.
- Crespo R. M., M.R. Goyal, C. Chao de Baes, L.E. Rivera, C.C. Baes y C.C. de Baes. 1988. Nutrient uptake and growth characteristics of nitrogen fertigated sweet peppers under drip irrigation and plastic mulch. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*. 72 (4): 575-584.
- FAO 1979. Yield response to Water . Irrigation Dranaige. Paper 33.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen, para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. 4ª. Edición. UNAM, México, D.F. 217 p.
- Ibarra J., L. y A. Rodríguez P. 1991. Validación del acolchado plástico en tomate, pepino, sandía y algodonero en el Noroeste de México. *Terra*. Vol. 9.
- INEGI-SPP. 1983. Cartas Estatales de S.L.P. Fenómenos climáticos. Escala 1:2'000,000. México, D.F.
- Locascio S.J. and A.G. Smajstrla. 1989. Drip-irrigated tomato as affected by water quantity and N and K application timing. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 102: 307-309.
- Papadopoulus, I. and G. Eliades. 1987. A fertigation system for experimental purposes. *Plant and Soil*. 102. 141-143.
- Quezada M., M.R., J. Flores. V., L. Ibarra J. 1991. Integración de técnicas de plasticultura en el cultivo de pepino en la región Noroeste de México. Memoria del XII Congreso Internacional de Plásticos en la Agricultura.
- Richards L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Handbook. No. 60. USDA. USA.
- Soil Survey Staff. 1995. Claves para la taxonomía de suelos (versión 1994). Trad. C. Ortiz-Solorio, C. Gutiérrez y J.L. García. 1ª. Edición en español. Publicación Especial No. 3. S.M.C.S. Chapingo, Edo. de México.