

# EFFECTO DEL SISTEMA DE RIEGO Y TENSION DE HUMEDAD DEL SUELO EN RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL AJO

## Garlic Yield and Quality as Affected by Irrigation Type and Soil Water Tension

Juan Manuel Barrios-Díaz<sup>1</sup>, Mari Carmen Larios-García<sup>1</sup>, Javier Z. Castellanos<sup>2,†</sup>, Gabriel Alcántar-González<sup>3</sup>, Leonardo Tijerina-Chávez<sup>3</sup> y Ma. de las Nieves Rodríguez-Mendoza<sup>3</sup>

### RESUMEN

Para evaluar el rendimiento y la calidad comercial del bulbo de ajo (*Allium sativum* L.), se realizó un experimento durante el ciclo otoño-invierno de 2000-2001 y 2001-2002. La variedad Tacázcuar, tipo Taiwán, se sembró y se sometió a cuatro tratamientos de tensión de humedad del suelo (THS) en riego por goteo superficial y uno más de riego por surcos con intervalo entre riegos de dos semanas. Se utilizaron tensiómetros instalados a 0.15 y 0.3 m de profundidad y los valores de la THS en cada tratamiento de riego por goteo en los dos ciclos de cultivo fueron: 5 a 10, 10 a 20, 20 a 30 y 25 a 50 kPa. El rendimiento total obtenido en estos tratamientos fue 26.9, 33.5, 35.9 y 37.3 t ha<sup>-1</sup> en el ciclo 2000-2001 y 29.1, 38.9, 39.0 y 41.9 t ha<sup>-1</sup> en el ciclo 2001-2002. El rendimiento en riego por surcos fue 28.7 y 32.9 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, en cada ciclo. El ahorro de agua de los tratamientos con riego por goteo varió entre 28 y 49% con respecto al volumen de agua aplicada en riego por surcos. Considerando el rendimiento promedio de ambos ciclos se muestra que mediante el riego por goteo se obtienen bulbos de mayor calidad que con riego por surcos. El rendimiento de los calibres de bulbo < 55 mm de diámetro (No exportable, Gigante y Jumbo) fue 5.6 t ha<sup>-1</sup> en riego por goteo y 8.4 t ha<sup>-1</sup> con riego por surcos; los calibres de bulbo entre 55 y 70 mm (Extra jumbo, Super jumbo y Colossal) fueron los más frecuentes, se obtuvieron 25.8 t ha<sup>-1</sup> en riego por goteo y 21.6 t ha<sup>-1</sup> con riego por surcos; y el rendimiento

del calibre > 70 mm (Super colosal) fue 4.0 t ha<sup>-1</sup> en riego por goteo y 0.9 t ha<sup>-1</sup> en riego por surcos.

**Palabras clave:** *Allium sativum* L., fertirriego, riego por goteo, riego por surcos, tensiómetro.

### SUMMARY

To evaluate yield and commercial quality of the garlic (*Allium sativum* L.) bulb, during the autumn-winter cycle, 2000-2001 and 2001-2002, an experiment was carried out in Celaya, Guanajuato, Mexico. Taiwan type garlic, Tacázcuar variety was sowed and subjected to four soil water tension (SWT) treatments in surface drip irrigation and another by furrow irrigation with an interval of two weeks between irrigations. Tensiometers were installed at depths of 0.15 and 0.3 m and the ranges of SWT for each drip irrigation treatment in both growth cycles were: 5-10, 10-20, 20-30, and 25-50 kPa. Total yields obtained from these treatments were 26.9, 33.5, 35.9 and 37.3 t ha<sup>-1</sup> for the 2000-2001 season and 29.1, 38.9, 39.0 and 41.9 t ha<sup>-1</sup> for the 2001-2002 season. Yields of 28.7 and 32.9 t ha<sup>-1</sup> were obtained in furrow irrigation in each season, respectively. Water saved in drip irrigation treatments ranged from 28 to 49% with respect to the applied water volume in furrow irrigation. Considering the average yield of both seasons, it was showed that bulbs of higher quality were obtained with drip irrigation than with furrow irrigation. Bulb caliber < 55 mm diameter (Non exportable, Giant and Jumbo) yield was 5.6 t ha<sup>-1</sup> in drip irrigation and 8.4 t ha<sup>-1</sup> with furrow irrigation; bulb calibers between 55 and 70 mm (Extra jumbo, Super jumbo and Colossal) were more frequent: 28.5 t ha<sup>-1</sup> with drip irrigation and 21.6 t ha<sup>-1</sup> with furrow irrigation. Finally, caliber > 70 mm (Super colossal) yield was 4.0 t ha<sup>-1</sup> in drip irrigation and 0.9 t ha<sup>-1</sup> with furrow irrigation.

**Index words:** *Allium sativum* L., fertigation, drip irrigation, furrow irrigation, tensiometer.

<sup>1</sup> Escuela de Ingeniería Agrohídrica, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. 73800 Teziutlán, Puebla, México.

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Apartado Postal 112, 38000 Celaya, Guanajuato, México.

<sup>†</sup> Autor responsable (casteja100@hotmail.com)

<sup>3</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, Estado de México.

## INTRODUCCIÓN

Entre los factores que afectan el rendimiento de ajo se encuentra el manejo del agua de riego, por tal razón y debido a una estrategia de los gobiernos federal y estatal para el ahorro de agua y energía, los agricultores de la región Bajío en Guanajuato, México, están sustituyendo el método tradicional de riego en surcos por el de goteo, basándose en las ventajas agronómicas, económicas y en el medio ambiente que señalaron Thompson *et al.* (2002b). Además, de investigaciones realizadas previamente por Patel *et al.* (1996), Fabeiro *et al.* (2003) y Hanson *et al.* (2003), es conocido que el volumen de agua aplicado y el método de riego influyen en el rendimiento y en la calidad de la producción de ajo, como consecuencia del régimen de humedad del suelo; sin embargo, los resultados reportados son muy variables debido a diferencias en sistemas productivos, variedades cultivadas, condiciones agroclimáticas y criterios para la aplicación de los riegos. Una forma práctica para monitorear la humedad del suelo en cultivos con riego por goteo es en términos de la tensión de humedad del suelo (THS), medida con dispositivos conocidos como tensiómetros que ofrecen buena sensibilidad a cambios de humedad en un intervalo inferior a 30 kPa (Pier y Doerge, 1995), el cual es óptimo para el cultivo de ajo según Brewster y Rabinowitch (1990).

En varios estudios se ha demostrado que el empleo de riego por goteo incrementa el ahorro y la eficiencia de uso del agua (EUA) con respecto al riego por surcos, debido principalmente a que en este último se requiere aplicar suficiente agua para humedecer la zona radicular de los sitios más alejados de la fuente de abastecimiento del surco (Benjamin *et al.*, 1998). Algunos índices de EUA obtenidos en investigaciones previas, y comparando ambos sistemas de riego, son: Patel *et al.* (1996), en ajo con riego por goteo, reportaron valores desde 1.4 hasta 1.7 kg m<sup>-3</sup> y en riego por surcos de 0.9 kg m<sup>-3</sup>; Al-Jamal *et al.* (2001) reportaron para cebolla valores máximos de 5.9 kg m<sup>-3</sup> en riego por goteo y 4.6 kg m<sup>-3</sup> en riego por surcos, aunque, debido a los elevados contenidos de humedad, los valores son mucho mayores.

Por otra parte, el tamaño del bulbo de ajo es el parámetro de calidad comercial más generalizado y el conocimiento del efecto del manejo del régimen de humedad en el suelo sobre la distribución del rendimiento por calibre de bulbo, puede permitir a

los agricultores tener una referencia para establecer sus metas de producción con base en la disponibilidad de agua para riego y sistema de riego seleccionado.

Por lo anterior y debido a las implicaciones técnicas de los sistemas de riego en la conservación de suelo, agua, productividad y sustentabilidad de la agricultura, el objetivo del presente estudio fue comparar el efecto del sistema de riego y la tensión de humedad sobre el rendimiento, el ahorro de agua, la EUA y la calidad del ajo cv. Tacátzcuaro.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se condujo durante el ciclo agrícola otoño-invierno de 2000-2001 y 2001-2002, en Celaya, Guanajuato, México, ubicado en 20° 34' N y 100° 50' O, a una altitud de 1650 m.

Durante el período de cultivo se presentaron respectivamente en cada ciclo: 82.4 mm de lluvia (en ambos ciclos), 921.4 y 901.5 mm de evaporación, 46114 y 45267 W m<sup>-2</sup> de radiación solar global, 17.3 y 16.1 °C de temperatura media, 27.3 y 26 °C de temperatura media máxima, y 7.3 y 5.8 °C de temperatura media mínima; estos datos son resultado de observaciones realizadas en una estación meteorológica automática Marca Davis, ubicada a 100 m del sitio experimental.

El suelo de textura migajón arcillosa con 33, 32 y 35% de arena, limo y arcilla, respectivamente, se clasificó como Isotermic udic pelustert (Castellanos *et al.*, 2001a), con densidad aparente de 1.28 y 1.3 g cm<sup>-3</sup> para las profundidades de 0.0 a 0.3 y 0.3 a 0.9 m, respectivamente. El contenido volumétrico de humedad del suelo con respecto a la THS fue de 0.34 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> a 30 kPa y 0.15 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> a 1500 kPa, obtenidos de la curva de retención de humedad. El pH del suelo fue 7.7 y el contenido de materia orgánica 1.6%.

La siembra se realizó el 3 de septiembre y el 1 de octubre, respectivamente para cada ciclo evaluado en 2000-2001 y 2001-2002. La variedad sembrada fue Tacátzcuaro (tipo Taiwán) con las características promedio, reportadas por Heredia *et al.* (1997): 95 cm de altura de planta, 12 dientes por bulbo y más de 70% de los bulbos cosechados sobrepasan 57 mm de diámetro. La población establecida fue aproximadamente de 381 000 plantas ha<sup>-1</sup> en parcelas experimentales de 54 m<sup>2</sup>, con un arreglo topológico de 0.07 m entre plantas, a doble hilera (0.25 m entre hileras) y en surcos de 0.75 m de ancho. Las fechas de

cosecha iniciaron en marzo 17 y marzo 25, finalizando en marzo 29 y abril 12, para cada ciclo respectivamente.

El diseño experimental utilizado fue bloques completamente al azar con cuatro repeticiones de cada tratamiento, según se detallan en el Cuadro 1. La dosis de N fue  $450 \text{ kg ha}^{-1}$ , utilizando como fuente nitrato de amonio (33.5%). El N se disolvió en el agua de riego para los tratamientos con riego por goteo y, en el tratamiento de riego por surcos, el N se colocó en bandas adyacentes e inferiores (0.1 m) a cada hilera de plantas. Los tratamientos de riego por goteo recibieron el N en 10 (ciclo 2000-2001) y 12 (ciclo 2001-2002) fertirriegos. En riego por surcos, el suministro de N se realizó únicamente en tres dosificaciones en ambos ciclos, ya que es la práctica común de los agricultores.

En el ciclo 2000-2001, en todos los tratamientos se aplicaron  $70 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y  $45 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  antes de la siembra y las fuentes fueron superfosfato triple y sulfato de potasio y magnesio ( $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4$ ). En adición, durante el desarrollo del cultivo se aplicaron a todos los tratamientos  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y  $75 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ ; las fuentes utilizadas fueron ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) y sulfato de potasio ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ).

En el ciclo 2001-2002, en el tratamiento de riego por surcos se aplicaron  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  con superfosfato triple y  $45 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  con  $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4$  en el momento de realizar la primera fertilización con N (sexta semana); a los tratamientos de riego por goteo se aplicaron  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) y  $85 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) disueltos en el agua de riego y durante el desarrollo del cultivo.

En el sistema de riego por goteo se utilizó cinta de goteo colocada en la superficie, marca T-tape con emisores de  $3.6 \text{ L h}^{-1} \text{ m}^{-1}$  a 69 kPa de presión y separados a 0.3 m. Los riegos se realizaron de acuerdo

con la THS programada en cada tratamiento y medida cada día a las 8:30 h con tensiómetros instalados a 0.15 y 0.30 m de profundidad sobre la hilera de plantas, entre dos plantas y dos emisores de la cintilla de riego. Para el tratamiento de riego por surcos se usaron láminas de 0.08 a 0.1 m, de acuerdo con la práctica común de riego de los productores de ajo en la región. El agua empleada en cada tratamiento se cuantificó con un medidor volumétrico con precisión de un litro. La EUA se calculó con la relación del rendimiento total de bulbo y el volumen de agua aplicada. En cada tratamiento se suspendieron los riegos tomando como criterio un porcentaje de maduración del bulbo de 80%, el cual se calculó dividiendo el número de dientes del bulbo envueltos por túnicas de color morado, característica de la variedad Tacátzcuaro que indica su madurez, entre el número total de dientes; el porcentaje de maduración se calculó en 10 bulbos de cada tratamiento dos veces por semana.

El rendimiento total se estimó con base en una parcela útil de  $8 \text{ m}^2$  en los cuatro surcos centrales de la parcela experimental; el total de bulbos cosechados se clasificó de acuerdo con su diámetro ecuatorial y peso promedio en los calibres comerciales de la Asociación de Productores y Exportadores de Ajo: No exportable (< 45 mm, 36 g), Gigante (45 a 50 mm, 49 g), Jumbo (50 a 55 mm, 62 g), Extra jumbo (55 a 60 mm, 77 g), Super jumbo (60 a 65 mm, 98 g), Colosal (65 a 70 mm, 122 g) y Super colosal (> 70 mm, 148 g).

Para el análisis de los resultados se utilizó el procedimiento ANOVA del programa estadístico SAS (SAS Institute, 1995). Se realizaron análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) con base en un diseño de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones.

**Cuadro 1. Descripción de los tratamientos evaluados en la producción de ajo cv. Tacátzcuaro.**

Sistema de riego	Frecuencia del riego o THS planeada	THS promedio en el ciclo <sup>†</sup>		
		2000-2001	2001-2002	Promedio global
		----- kPa -----		
Surcos	Dos semanas	nd <sup>†</sup>	nd	nd
Goteo	25 a 50 kPa	39	42	41
Goteo	20 a 30 kPa	24	27	26
Goteo	10 a 20 kPa	14	19	17
Goteo	5 a 10 kPa	8	10	9

<sup>†</sup> Promedio de las mediciones realizadas a 0.15 y 0.3 m de profundidad. THS = tensión de humedad del suelo. <sup>†</sup> nd = no determinado.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Rendimiento Total

La tensión de humedad del suelo (THS), impuesta con riego por goteo al cultivo durante todo su ciclo, influyó significativamente sobre el rendimiento de ajo obtenido en cada tratamiento de ambos ciclos (Cuadro 2). Hanson *et al.* (2003) encontraron similar tendencia con riego por aspersión. El rendimiento total máximo fue de 37.3 t ha<sup>-1</sup> en el ciclo 2000-2001 y de 41.9 t ha<sup>-1</sup> en el ciclo 2001-2002; el promedio de estos rendimientos fue 6 y 28% mayor que los reportados por Heredia *et al.* (1997) y Castellanos *et al.* (2001b), con el mismo cultivar y la densidad estudiados.

El rendimiento total del tratamiento de riego por goteo más húmedo (5 a 10 kPa de THS) fue superior al obtenido con riego por surcos en 30 y 27%, respectivamente, para cada uno de los dos ciclos estudiados. El riego por goteo aumentó el rendimiento del cultivo debido, en parte, al frecuente y constante régimen de humedad al que es sometido el volumen radicular, lo cual, según Neeraja *et al.* (2001), influye en la solubilización, absorción y translocación de los nutrimentos aplicados como fertilizantes. Sin embargo, mantener el cultivo de ajo a THS inferiores a 10 kPa con riego por goteo significó una mayor cantidad de agua aplicada (Cuadro 2) y el incremento en el rendimiento no fue significativo con respecto a los tratamientos de THS inferiores a 20 kPa en el ciclo 2000-2001 y menores que 30 kPa en el ciclo 2001-2002. Pier y Doerge (1995), en sandía, Thompson y Doerge (1995), en lechuga romana, y Thompson *et al.* (2002a), en brócoli, hicieron reportes semejantes.

El rendimiento de ajo obtenido con riego por surcos en el ciclo 2000-2001 sólo fue comparable al conseguido con riego por goteo a un nivel de THS entre 25 y 50 kPa. Durante el ciclo 2001-2002, se obtuvo mayor rendimiento con riego por surcos que con el tratamiento con una THS más alta. Sin embargo, aun con estos resultados, el empleo del riego por goteo a una THS de 25 a 50 kPa significó que el volumen de agua aplicado por hectárea fuera mucho menor que al emplear riego por surcos, situación muy importante en las regiones con limitada disponibilidad del recurso. Patel *et al.* (1996) obtuvieron un incremento máximo en rendimiento de 8% en riego por goteo con respecto al rendimiento logrado con riego por gravedad. Los resultados de estos autores son sólo comparables con los tratamientos de más alta THS del presente estudio, lo cual indica que posiblemente ellos no optimizaron la tensión de humedad en el riego por goteo y perdieron potencial de rendimiento, por lo que únicamente lograron incrementos marginales.

Entre tratamientos de riego por goteo, el incremento máximo en rendimiento total fue de 39% en el ciclo 2000-2001 y 44% en el ciclo 2001-2002, obtenido con el tratamiento más húmedo respecto al rendimiento del tratamiento más seco (25 a 50 kPa de THS). Estos resultados indican la importancia de definir la tensión de humedad óptima del suelo para maximizar el rendimiento del cultivo en los sistemas de riego por goteo. Esto significa que no basta con cambiar el sistema de riego, sino que es vital desarrollar la tecnología para su operación y la variable más importante de ésta es el manejo de la tensión de humedad del suelo.

Cuadro 2. Volumen de agua, rendimiento total y eficiencia de uso de agua de ajo cv. Tacázcuaró.

Tratamiento	Volumen total aplicado <sup>†</sup>		Rendimiento total		Eficiencia de uso de agua	
	2000-2001	2001-2002	2000-2001	2001-2002	2000-2001	2001-2002
	----- m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> -----		----- t ha <sup>-1</sup> -----		----- kg m <sup>-3</sup> -----	
Surcos	12977	11361	28.7 c <sup>§</sup>	32.9 b	2.22 c	2.89 c
Goteo 25 a 50 kPa <sup>†</sup>	6661	5725	26.9 c	29.1 c	4.04 b	5.08 b
Goteo 20 a 30 kPa	7637	6930	33.5 b	38.9 a	4.38 ab	5.62 a
Goteo 10 a 20 kPa	8097	7476	35.9 ab	39.0 a	4.43 a	5.21 ab
Goteo 5 a 10 kPa	8854	8627	37.3 a	41.9 a	4.22 ab	4.86 b
DMS			2.9	3.5	0.38	0.45
CV			4.0	4.2	4.39	4.24

<sup>†</sup> Intervalo de tensión de humedad del suelo medida a 0.15 y 0.3 m de profundidad. <sup>‡</sup> Incluye el volumen de agua aplicada mediante el riego más el de lluvia.

<sup>§</sup> Medias con la misma letra en columna son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ). DMS = diferencia mínima significativa; CV = coeficiente de variación (en %).

### Volumen de Agua Aplicada

La cantidad de agua aplicada a cada tratamiento de riego por goteo y por surcos en el ciclo 2000-2001 fue mayor que la suministrada durante el ciclo 2001-2002. Esta situación probablemente tenga relación directa con una mayor cantidad de radiación solar global y temperatura promedio registradas durante el primer ciclo, lo cual aumentó la demanda hídrica e influyó de forma adversa sobre el rendimiento de ajo y la eficiencia de uso de agua (Cuadro 2). El ahorro de agua de los tratamientos de riego por goteo con respecto al establecido con riego por surcos, en ambos ciclos varió entre 49% con el tratamiento más seco y 28% con el tratamiento más húmedo. En el riego por goteo se favorece el ahorro de agua debido al humedecimiento de sólo una fracción del volumen total de suelo que incluye el de mayor actividad radicular. Sin embargo, la optimización de la tensión de humedad en el manejo del riego es el resultado de varias variables, entre las que destacan, además del ahorro del agua, el rendimiento, la calidad del bulbo y la rentabilidad.

### Eficiencia de Uso del Agua (EUA)

El valor promedio de la EUA obtenida para los tratamientos con riego por goteo en cada ciclo es muy superior a la obtenida con riego por surcos. Patel *et al.* (1996), al comparar ambos sistemas de riego en el cultivo de ajo, reportaron diferencias superiores a 60%. En estos resultados se reflejan las diferencias físicas y en operación de cada método de riego. El riego por goteo se caracteriza por la aplicación del agua de una manera localizada, frecuente y dosificada, logrando que el contenido de humedad de la zona radicular del cultivo permanezca relativamente constante. Esto favorece a la absorción de nutrimentos por la planta, que se traduce en mayor rendimiento y, en consecuencia, la EUA se incrementa. Por el contrario, en el riego por surcos es necesario aplicar grandes volúmenes de agua al inicio del surco para garantizar en su parte final la aplicación de la lámina de riego requerida por el cultivo; esto significa que no hay un control adecuado en el suministro del agua a la zona radicular, provocando pérdidas por precolación y la disminución de la EUA.

Al comparar los tratamientos de riego por goteo, durante el ciclo 2000-2001, la EUA fue máxima con THS inferiores a 30 kPa y únicamente se obtuvieron diferencias entre los tratamientos con THS de

10 a 20 kPa y de 25 a 50 kPa. Panchal *et al.* (1992) y Fabeiro *et al.* (2003) reportaron también respuestas poco significativas para el cultivo de ajo. Durante el ciclo 2001-2002, la máxima EUA se obtuvo con la THS entre 10 y 30 kPa, disminuyendo cuando la THS fue inferior a 10 kPa y superior a 30 kPa; en el primer caso, los resultados coinciden con reportes hechos por Al-Jamal *et al.* (2001), en cebolla, y Patel *et al.* (1996) y Hanson *et al.* (2003), en ajo, en los cuales se establece que un incremento en la cantidad de agua aplicada cuando el riego se maneja a THS muy bajas, en general, causa una respuesta positiva en el rendimiento del cultivo, pero un decremento en la EUA; para el segundo caso, es claro que el aumento de la THS superior a 30 kPa provocó una disminución del rendimiento y, en consecuencia, la EUA decreció.

### Calidad de Bulbo

Los resultados de este estudio muestran el beneficio del manejo del agua a mayor contenido de humedad en riego por goteo, pues mientras que en riego por surcos sólo se obtuvieron 6.1 y 7.7 t ha<sup>-1</sup> de bulbos de calibre Colosal y Super colosal, para el primer y segundo ciclo respectivamente, en el tratamiento más húmedo (5 a 10 kPa) se lograron 19.2 y 22.2 t ha<sup>-1</sup> de estos calibres para dichos ciclos. En el primer caso, estos calibres de mayor valor en el mercado sólo representan 21 y 23%, respectivamente, del rendimiento total, mientras que en el último, estas dos clases comerciales representan 51 y 53% de la cosecha total. Sólo en el tratamiento más seco (25 a 50 kPa) se obtuvieron rendimientos bajos de esos dos calibres grandes, muy similares a los logrados con el sistema de riego por surcos (Cuadros 3 y 4).

Al comparar los tratamientos seco y más húmedo de riego por goteo, fue más notorio en el primer ciclo evaluado que el rendimiento de calibres inferiores a 55 mm de diámetro (No exportable, Gigante y Jumbo) disminuyó en relación directa con el intervalo de THS; por otra parte, el rendimiento de los calibres de bulbo superiores a 60 mm de diámetro (Super jumbo, Colosal y Super colosal) se incrementó con la disminución de la THS. Fabeiro *et al.* (2001) reportaron tendencias similares para el cultivo de papa con riego por goteo y Sammis (1980), en el primero de tres años estudiados, al comparar los sistemas de riego por aspersión, goteo y surcos. En el cultivo de ajo, Hanson *et al.* (2003) reportaron un incremento lineal del peso promedio de bulbo fresco, con el incremento del agua aplicada.

**Cuadro 3. Rendimiento de ajo cv. Tacázcuaru por calibre del bulbo, durante el ciclo 2000-2001.**

Tratamiento	No exportable < 45 mm	Gigante 45 a 50 mm	Jumbo 50 a 55 mm	Extra jumbo 55 a 60 mm	Super jumbo 60 a 65 mm	Colosal 65 a 70 mm	Super colosal > 70 mm
----- t ha <sup>-1</sup> -----							
Surcos	4.0 a <sup>†</sup>	2.8 a	2.7 a	6.1 a	7.0 c	5.1 b	1.0 b
Goteo 25 a 50 kPa <sup>†</sup>	3.9 a	2.6 a	2.6 a	5.9 a	6.7 c	4.6 b	0.6 b
Goteo 20 a 30 kPa	3.0 ab	1.7 b	1.4 b	5.8 a	9.1 ab	9.7 a	2.8 b
Goteo 10 a 20 kPa	3.2 ab	1.7 b	1.3 b	5.6 a	9.4 a	10.8 a	3.9 b
Goteo 5 a 10 kPa	2.1 b	1.4 b	1.3 b	5.0 a	8.3 b	9.5 a	9.7 a
DMS	1.5	0.8	1.1	1.3	1.1	2.3	3.8
CV	20.1	18.0	27.4	9.9	5.8	12.7	46.8

<sup>†</sup> Intervalo de tensión de humedad del suelo medida a 0.15 y 0.3 m de profundidad. <sup>†</sup> Medias con la misma letra por columna son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ). DMS = diferencia mínima significativa; CV = coeficiente de variación (en %).

**Cuadro 4. Rendimiento de ajo cv. Tacázcuaru por calibre del bulbo, durante el ciclo 2001-2002.**

Tratamiento	No exportable < 45 mm	Gigante 45 a 50 mm	Jumbo 50 a 55 mm	Extra jumbo 55 a 60 mm	Super jumbo 60 a 65 mm	Colosal 65 a 70 mm	Super colosal > 70 mm
----- t ha <sup>-1</sup> -----							
Surcos	1.3 ab <sup>†</sup>	2.9 a	3.0 a	7.0 a	11.0 a	7.0 c	0.7 c
Goteo 25 a 50 kPa <sup>†</sup>	2.0 a	1.7 ab	2.5 ab	6.5 a	10.3 a	5.4 c	0.7 c
Goteo 20 a 30 kPa	0.8 ab	2.1 ab	2.1 ab	6.0 a	14.0 a	11.2 b	2.7 bc
Goteo 10 a 20 kPa	0.8 b	2.0 ab	2.0 ab	5.7 ab	13.6 a	11.1 b	3.8 b
Goteo 5 a 10 kPa	0.6 b	0.9 b	1.0 b	3.6 b	13.6 a	14.7 a	7.5 a
DMS	1.2	1.9	1.7	2.2	4.0	3.0	3.0
CV	47.6	44.1	35.1	16.8	14.1	13.4	42.1

<sup>†</sup> Intervalo de tensión de humedad del suelo medida a 0.15 y 0.3 m de profundidad. <sup>†</sup> Medias con la misma letra por columna son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ). DMS = diferencia mínima significativa; CV = coeficiente de variación (en %).

## CONCLUSIONES

El rendimiento total de bulbo de ajo, obtenido con riego por goteo y con una THS inferior a 30 kPa, se incrementó significativamente con respecto al conseguido con riego por surcos. El rendimiento en riego por surcos fue comparable al logrado cuando en el riego por goteo la THS se mantuvo entre 25 y 50 kPa. Esta situación favoreció un ahorro de agua cercano a 50% respecto al volumen de agua aplicado en el método de riego por gravedad y, en consecuencia, la EUA prácticamente se duplicó. Por otra parte, mantener un valor de THS inferior a 10 kPa y con respecto a los resultados obtenidos con riego por surcos, disminuyó el rendimiento de calibres de bulbo con diámetro menor que 55 mm e incrementó el de calibres con diámetro mayor que 65 mm, sin embargo, el ahorro de agua se redujo considerablemente.

## LITERATURA CITADA

- Al-Jamal, M.S., S. Ball y T.W. Sammis. 2001. Comparison of sprinkler, trickle and furrow irrigation efficiencies for onion production. *Agric. Water Manage.* 46: 253-266.
- Benjamin, J.G., L.K. Porter, H.R. Duke, L.R. Ahuja y G. Butters. 1998. Nitrogen movement with furrow irrigation and fertilizer band placement. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62: 1103-1108.
- Brewster, J.L. y H.D. Rabinowitch. 1990. Garlic agronomy. pp. 147-157. *In*: Brewster, J.L. y H.D. Rabinowitch (eds.). *Onions and allied crops. Volume III. Biochemistry, food science, and minor crops.* CRC Press. Boca Raton, FL.
- Castellanos, J.Z., S. Villalobos, J.A. Delgado, J.J. Muñoz-Ramos, A. Sosa, P. Vargas, I. Lazcano, E. Álvarez-Sánchez y S.A. Enriquez. 2001a. Use of best management practices to increase nitrogen use efficiency and protect environmental quality in a broccoli-corn rotation of central Mexico. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32: 1265-1292.
- Castellanos, J.Z., J.L. Ojodeagua, F. Méndez, S. Villalobos-Reyes, V. Badillo, P. Vargas, I. Lazcano-Ferrat. 2001b. Phosphorus requirements by garlic under fertigation. *Better Crops Int.* 15(2): 21-23.
- Fabeiro-Cortés, C., F.J. Martín de Santa Olalla y J.A. de Juan-Valero. 2001. Yield and size of deficit irrigated potatoes. *Agric. Water Manage.* 48: 255-266.

- Fabeiro-Cortés, C., F. Martín de Santa-Olalla y R. López-Urrea. 2003. Production of garlic (*Allium sativum* L.) under controlled deficit irrigation in a semi-arid climate. *Agric. Water Manage.* 59: 155-167.
- Hanson, B.R., D. May, R. Voss, M. Cantwell y R. Rice. 2003. Response of garlic to irrigation water. *Agric. Water Manage.* 58: 29-43.
- Heredia, A., E. Heredia y J.A. Laborde. 1997. Number of cloves per bulb; selection criteria for garlic improvement II. Results with "Taiwan" type. *Acta Hort.* 433: 271-277.
- Neeraja, G., K. Malla Reddy, M. Suryanarayana Reddy y V. Praveen Rao. 2001. Influence of irrigation and nitrogen levels on bulb yield, nutrient uptake and nitrogen use efficiencies in rabi onion (*Allium cepa*). *Indian J. Agric. Sci.* 71: 109-112.
- Panchal, G.N., M.M. Modhwadia, J.C. Patel, S.G. Sadaria y B.S. Patel. 1992. Response of garlic (*Allium sativum*) to irrigation, nitrogen and phosphorous. *Indian J. Agron.* 37: 397-398.
- Patel, B.G., V.D. Khanpara, D.D. Malavia y B.B. Kaneria. 1996. Performance of drip and surface methods of irrigation for garlic (*Allium sativum*) under varying nitrogen levels. *Indian J. Agron.* 41: 174-176.
- Pier, J.W. y T.A. Doerge. 1995. Nitrogen and water interactions in trickle-irrigated watermelon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 145-150.
- Sammis, T.W. 1980. Comparison of sprinkler, trickle, subsurface, and furrow irrigation methods for row crops. *Agron. J.* 72: 701-704.
- SAS Institute, Inc. 1995. ANOVA. *In: SAS user's guide.* Statistic. Cary, NC.
- Thompson, T.L. y T.A. Doerge. 1995. Nitrogen and water rates for subsurface trickle-irrigated romaine lettuce. *HortScience* 30: 1233-1237.
- Thompson, T.L., T.A. Doerge y R.E. Godin. 2002a. Subsurface drip irrigation and fertigation of broccoli. I. Yield, quality, and nitrogen uptake. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 186-192.
- Thompson, T.L., T.A. Doerge y R.E. Godin. 2002b. Subsurface drip irrigation and fertigation of broccoli. II. Agronomic, economic, and environmental outcomes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 178-185.