

RENDIMIENTO Y CALIDAD DE AJO CON DIFERENTE MANEJO DEL RIEGO POR GOTEO

**J. M. Barrios-Díaz¹; M. C. Larios-García¹; J. Z. Castellanos^{2†}; G. Alcántar-González³;
M. de las N. Rodríguez-Mendoza³; L. Tijerina-Chávez³; W. Cruz-Romero¹**

¹Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, A. P. 54, Teziutlán, Puebla, México. C. P. 73800. MÉXICO.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, A. P. 112, Celaya, Gto., México.

C. P. 38000. MÉXICO. Correo-e: casteja@attglobal.net ([†]Autor responsable).

³Colegio de Postgraduados. Instituto de Recursos Naturales. Montecillo, Estado de México. C. P. 56230. MÉXICO.

RESUMEN

Ante el problema de sobreexplotación de acuíferos en Guanajuato, México, los productores de hortalizas están cambiando a métodos más eficientes de riego, por ejemplo el de goteo. El efecto en rendimiento y calidad, de diferentes estrategias de suministro de agua con este sistema, no es muy conocido, por esta razón se realizó un experimento durante el ciclo otoño-invierno de 2001-02, con el cultivo de ajo cv. Tacatzcuaro, para evaluar su respuesta a la tensión de humedad del suelo (THS). Los tratamientos fueron: T1 (9, 7 y 8 kPa), T2 (9, 7 y 19 kPa), T3 (9, 11 y 28 kPa) y T4 (19, 11 y 8 kPa), cada THS correspondió a los períodos: 0 a 90, 91 a 130 y 131 a 185 días después de la siembra. El rendimiento fue 29.3, 27.9, 26.0 y 22.3 t·ha⁻¹ de bulbo; la eficiencia de uso de agua fue 3.0, 3.1, 3.2 y 2.5 kg·m⁻³; valores respectivamente para T1, T2, T3 y T4. El calibre de bulbo con mayor proporción del rendimiento total fue el super colosal (70 a 75 mm de diámetro). El número máximo de tunicas íntegras fue 5.6 en T3 y el mínimo 4.3 en T2. La pungencia (aliína y tiosulfatos totales) del diente, disminuyó cuando la THS fue incrementada en el período final analizado (T2 y T3). El incremento gradual de la THS durante el ciclo de cultivo (T3), resultó mejor estrategia de manejo del riego por goteo.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: *Allium sativum* L., fertirriego, riego localizado, tensiómetro, pungencia.

GARLIC YIELD AND QUALITY WITH DIFFERENT MANAGEMENT TECHNIQUES OF DRIP IRRIGATION

ABSTRACT

Faced with the problem of overexploitation of underground water resources in Guanajuato, Mexico, horticultural growers are changing their traditional irrigation methods to other more efficient ones, for example, drip irrigation. The effect of different strategies of water management with this system on yield and quality is not well known. For this reason, an experiment was conducted during the fall-winter period of 2001-02 with garlic cv. Tacatzcuaro, to evaluate its response to Soil Water Tension (SWT). The treatments were: T1 (9, 7 and 8 kPa), T2 (9, 7 and 19 kPa), T3 (9, 11 and 28 kPa), and T4 (19, 11 and 8 kPa). Every SWT corresponded to the periods: 0 to 90, 91 to 130 and 131 to 185 days after sowing. The yield was 29.3, 27.9, 26.0 and 22.3 t·ha⁻¹ of bulb; water use efficiency was 3.0, 3.1, 3.2 and 2.5 kg·m⁻³; respectively for T1, T2, T3 and T4. The bulb caliber with the highest yield proportion was Super Colossal (70 to 75 mm diameter). The maximum number of whole bulb skins was 5.6 in T3 and the minimum was 4.3 in T2. Clove pungency (alliin and total thiosulfates) decreased when SWT increased at the end of analyzed period (T2 and T3). The gradual increase of SWT during growth cycle (T3) was found to be the best strategy of water management with drip irrigation.

ADDITIONAL KEY WORDS: *Allium sativum* L., fertirrigation, localized irrigation, tensiometer, pungency.

INTRODUCCIÓN

La principal zona productora de ajo en México se encuentra ubicada en el estado de Guanajuato, donde se genera el 33 % del total nacional y entre 50 y 70 % de su

producción es para exportación (ASERCA, 1999). En la actualidad, la producción hortícola basada en la explotación subterránea de agua para riego presenta serios problemas de abastecimiento del recurso, debido a una sobreexplotación de los mantos acuíferos (Castellanos et

al., 2001a), provocada principalmente por el volumen excesivo de agua que se aplica a los cultivos, con métodos convencionales de riego por gravedad. Ante tal situación, el Gobierno Federal y Estatal han creado programas de apoyo para implementar métodos de riego que incrementen eficiencia de uso de agua y mejoren la calidad de los productos (Tijerina, 1999).

La tecnificación mediante el riego por goteo se ha planteado como una solución viable a este problema debido a las ventajas agronómicas, económicas y en el medio ambiente (Thompson y Doerge, 1996; Castellanos *et al.*, 2001a y Thompson *et al.*, 2000 y 2002), a consecuencia de la elevada eficiencia que puede lograrse en la aplicación conjunta del agua de riego y los fertilizantes, principalmente el N, en la zona de mayor actividad radicular del cultivo.

El control del fertirriego por goteo requiere de un frecuente seguimiento de la humedad del suelo en el área cultivada (Hagin y Lowengart, 1996), el cual, de acuerdo con Pier y Doerge (1995), tiene ventajas manejarlo en términos de tensión de humedad del suelo (THS), utilizando tensiómetros, debido a que los valores óptimos de THS para cultivos específicos, pueden ser fácilmente transferidos a otras localidades con diferentes propiedades físicas del suelo y condiciones climáticas. En el caso específico del ajo, existe poca información acerca de la THS óptima, de su manejo en riego por goteo y el efecto en rendimiento y calidad que tienen diferentes niveles de estrés hídrico durante el desarrollo del cultivo. Al respecto, Turner (1990) señaló que el estrés hídrico es el factor que más influye en la pérdida de rendimiento sobre todo si ocurre durante la etapa más crítica del desarrollo; en el cultivo de ajo, se presenta cuando el crecimiento del bulbo es más rápido e inicia la diferenciación de los dientes.

Por otra parte, el manejo de la humedad del suelo es importante en la calidad del producto cosechado. Brewster y Rabinowitch (1990) señalaron que el suministro de agua al cultivo de ajo debe suspenderse tres semanas antes de iniciar la cosecha para prevenir la decoloración y ruptura de las túnicas del bulbo. También, el sabor y olor (pungencia), es un parámetro de calidad directamente relacionado con la disponibilidad nutricional (S, N, Se y Ca) y del ambiente, como la temperatura y el nivel de estrés hídrico al que se somete el cultivo (Randle y Lancaster, 2002). El principal precursor de la pungencia es el compuesto S-(2-Propenil)-L-cisteína sulfóxido, comúnmente llamado aliína o S-aliil cisteína sulfóxido (Lancaster y Boland, 1990). De acuerdo con Yoo y Pike (1998), este compuesto en el ajo representa el 83.7 % del total de los principales precursores de la pungencia. Al alterar el tejido del diente de ajo, la aliína reacciona con la enzima alinasa (E.C. 4.4.1.4, S-alquil-L-cisteína liasa) para formar alicina o dialil tiosulfonato, compuesto volátil que da el olor característico del ajo (Lancaster y Boland, 1990).

Como fue señalado anteriormente, el manejo de la humedad del suelo al que es sometido el cultivo tiene un efecto diferente en rendimiento y calidad de ajo. Por ello, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la variación de la THS en tres períodos (0 a 90, 91 a 130 y 131 a 185 días después de la siembra, dds), sobre el rendimiento, la eficiencia de uso de agua y N, la calidad física y organoléptica del ajo regado por goteo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue realizado en el ciclo agrícola otoño – invierno de 2001-02, en el Campo Experimental Bajío del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), localizado en Celaya, Guanajuato, entre las coordenadas 20° 34' latitud norte y 100° 50' longitud oeste, a una altitud de 1,650 m. El suelo de textura migajón arcillosa con 33, 32 y 35 % de arena, limo y arcilla se clasificó como "isotermic udic pelustert" (Castellanos *et al.*, 2001a), con densidad aparente de 1.28 y 1.30 g·cm⁻³ para las profundidades de 0.0 a 0.3 y 0.3 a 0.9 m, respectivamente. El contenido volumétrico de humedad del suelo a 30 kPa de THS fue de 0.34 m³·m⁻³ y a 1500 kPa fue de 0.15 m³·m⁻³. El pH del suelo fue de 7.7 y el contenido de materia orgánica de 1.6 %. Durante el período de cultivo se presentaron: 97 mm de lluvia, 917 mm de evaporación, 232 W·m⁻² de radiación solar global media, 15.5 °C de temperatura media, 26.1 °C de temperatura media máxima y 6.8 °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. Con la información meteorológica diaria fue estimada la evapotranspiración de referencia (Eto) con la ecuación FAO Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998).

La siembra se realizó manualmente en septiembre 14 de 2001. El cultivar de ajo sembrado fue Tacáztzcuaro (tipo Taiwán) con características reportadas en Heredia *et al.* (1997). El peso promedio de la semilla fue de 7.6 g. La población establecida fue de 300 000 plantas ha⁻¹ en parcelas experimentales de 48 m², constituidas por dos camas de siembra, cada una de 2 m de ancho por 12 m de largo, con un arreglo topológico de seis hileras de plantas, con separación entre hileras de 0.25 m y entre plantas de 0.1 m. Las fechas de cosecha iniciaron en marzo 20, finalizando en marzo 25 de 2001. El diseño experimental utilizado fue de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones por tratamiento que se describen en el Cuadro 1.

El riego de los tratamientos, fue utilizando cinta de goteo con emisores de 3.6 litro·h⁻¹·m⁻¹ a 83 kPa de presión, separados a 0.3 m. En cada cama de siembra se colocaron tres líneas regantes, cada una entre dos hileras de plantas. Los riegos se realizaron de acuerdo a la THS programada

CUADRO 1. Criterios de riego planeados, tensión de humedad del suelo y suministro de agua del cultivo de ajo cv. Tacátzcuaro.

Tratamiento	Criterio de riego planeado (kPa)			Tensión de humedad del suelo ^z (kPa)			Lámina de riego (mm)	Láminatotal aplicada ^y (mm)
	I	II	III	I	II	III		
T1	5 a 10	5 a 10	5 a 10	9.0	7.0	8.0	884.0	981.0
T2	5 a 10	5 a 10	10 a 20	9.0	7.0	19.0	802.4	899.4
T3	5 a 10	10 a 20	20 a 30	9.0	11.0	28.0	716.5	813.5
T4	20 a 30	10 a 20	5 a 10	19.0	11.0	8.0	792.9	889.9

^aValor promedio obtenido del registro diario y a las profundidades de 0.15 y 0.3 m.

^yIncluye 97.0 mm de lluvia.

I: 0 a 90 días después de la siembra (dds); II: 91 a 130 dds; III: 131 a 185 dds

en cada tratamiento, medida diariamente a las 8:30 h, con tensiómetros instalados a 0.15 y 0.30 m de profundidad y entre dos hileras centrales de plantas y dos emisores. El agua empleada en el riego de cada tratamiento fue cuantificada con un medidor volumétrico, con precisión de un litro. Los riegos se suspendieron tomando como criterio un porcentaje de maduración del bulbo del 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 fertirriego del cultivo fue suministrando una dosis de N de 464 kg·ha⁻¹. La distribución de la dosis de N fue semanal, hasta los 140 días de desarrollo del cultivo, con un promedio de 20 kg·ha⁻¹. Adicionalmente se aplicaron 57 kg de P (130 kg de P₂O₅) y 79 kg de K (95 kg K₂O) por hectárea. Las fuentes fertilizantes fueron: fosfonitrato (31 % N y 4 % P₂O₅), polifosfato de amonio (11 % N y 37 % P₂O₅) y sulfato de potasio (50 % K₂O).

Determinaciones al cultivo

La determinación de biomasa fue realizada cuando el cultivo alcanzó la madurez fisiológica, tomando como muestra el número de plantas por un metro cuadrado de superficie. Cada muestra fue dividida en parte aérea de la planta y bulbo, ambas fueron secadas en una estufa con circulación de aire a 70 °C, posteriormente fueron pesadas, molidas y analizadas para determinar la concentración de N total por el método Kjeldahl y estimar la extracción de N por el cultivo en parte aérea, bulbo y planta completa (Jones *et al.*, 1991). El rendimiento total fue estimado con base en una parcela útil de 8 m² ubicada en el centro de la parcela experimental. Fue determinado el índice de cosecha (IC) = peso seco de bulbo / biomasa total; la eficiencia de uso de agua (EUA) = rendimiento de bulbo / volumen de agua aplicado mediante el riego más la lluvia; la eficiencia fisiológica de N (EFN) = rendimiento de bulbo en el tratamiento / extracción total de N en el tratamiento; el índice de cosecha de N (ICN) = contenido de N en el bulbo / extracción total de N.

Determinaciones de calidad física del bulbo

El total de bulbos cosechados en la parcela útil, fueron clasificados de acuerdo a su diámetro ecuatorial y peso promedio en los siguientes calibres: No exportable (< 45 mm, 30 g), Gigante (45 a 50 mm, 50 g), Jumbo (50 a 55 mm, 61 g), Extra jumbo (55 a 60 mm, 77 g), Super jumbo (60 a 65 mm, 99 g), Colosal (65 a 70 mm, 125 g), Super colosal (70 a 75 mm, 151 g) y Calibre 12 (>75 mm, 185 g) que corresponden a la clasificación comercial (excepto el Calibre 12) de la Asociación de Productores y Exportadores de Ajo. También fue cuantificado el número de túnicas íntegras del bulbo, en una muestra de 10 bulbos por repetición, dos semanas después de haber realizado la cosecha y clasificación de los bulbos.

Determinaciones de calidad organoléptica en el diente

La pungencia fue evaluada con el análisis de tiosulfatos totales mediante espectrofotometría (Han *et al.*, 1995) y la determinación de aliína por cromatografía de líquidos de alta resolución (Iberl *et al.*, 1990). Los valores de color (hue) y saturación del color (croma) del diente sin túnica, fueron determinados con un colorímetro Minolta. La firmeza fue determinada con un analizador de textura TA-XT2i. Finalmente, el porcentaje de peso seco = peso seco / peso fresco. Las determinaciones de color, textura y porcentaje de peso seco, fueron realizadas en 15 dientes de una muestra de 6 bulbos por repetición. El programa SAS (1995) fue usado para los análisis estadísticos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Suministro de agua

El suministro de agua al cultivo mediante el riego se incrementó por 97 mm de lluvia, sin embargo, al final del ciclo de cultivo, la lámina total aplicada a los distintos tratamientos, varió de acuerdo a la THS impuesta (Cuadro 1). En todos los tratamientos estudiados, la lámina de riego (Lr) durante el desarrollo del cultivo fue mayor que 717.6 mm de Eto (Figura 1), debido a que la programación del riego fue basada en tensiómetros, los cuales tienen mayor

sensibilidad a cambios pequeños del contenido de humedad en el rango húmedo (<30 kPa de THS), haciendo más práctico el manejo de la humedad del suelo en sistemas de riego por goteo e incrementando la frecuencia del suministro de agua (Pier y Doerge, 1995). Durante el período de 0 a 90 dds, la Lr fue 50 % mayor que Eto, debido a que en el establecimiento del cultivo (primeras tres semanas), para humedecer completamente la cama de siembra y asegurar un porcentaje de emergencia cercano a 100 %, la Lr representó del 20 a 30 % de la lámina de riego total aplicada (Lra). Similares porcentajes de agua aplicada en el establecimiento del cultivo de brócoli (*Brasica oleracea* L. Grupo Itálica) reportaron Castellanos *et al.* (2001a). En el período de 91 a 130 dds en T3 y T4, con THS de 11 kPa, la Lra fue mayor 20 %, mientras que en T1 y T2 con THS de 7 kPa fue 30 % mayor. Finalmente, en el período de 131 a 185 dds, la Lra fue mayor 10 % en T3 (28 kPa), 20 % en T2 (19 kPa) y T4 (8 kPa), y 30 % en T1 (8 kPa).

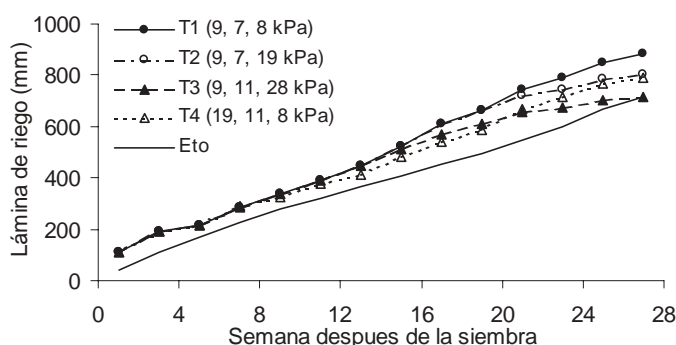


FIGURA 1. Comparación entre la lámina de riego aplicada y la evapotranspiración de referencia (Eto), acumuladas durante el ciclo de cultivo del ajo cv. Tacázcuar con diferente tensión de humedad del suelo en tres periodos: 0 a 90, 91 a 130 y 131 a 185 días después de la siembra.

Rendimiento

La THS a la cual fue sometido el cultivo durante cada una de los períodos analizados influyó significativamente sobre el rendimiento total de bulbo (Cuadro 2). Similares resultados fueron reportados por Fabeiro *et al.* (2003), sin embargo, debido al diseño del experimento empleado, encontraron que la etapa de maduración del bulbo fue la que tuvo más efecto en la disminución del rendimiento. En la presente investigación, cuando la THS fue de 19 kPa en el período inicial de 0 a 90 dds (T4), el rendimiento obtenido fue el mínimo y disminuyó 32 % con respecto al máximo obtenido en T1, que fue sometido a una THS de 9 kPa. Por otra parte, entre los tratamientos sometidos en el período inicial a una THS de 9 kPa (T1, T2 y T3) no hubo diferencia significativa y el promedio de esos tratamientos fue 27.7 t·ha⁻¹ de bulbo. Castellanos *et al.* (2001b), reportan un rendimiento de 31 t ha⁻¹ con la misma densidad y cultivar

empleados en el presente trabajo. En varios experimentos de riego por goteo y con otros cultivos han obtenido incremento del rendimiento con THS menores a 10 kPa (Pier y Doerge, 1995, en sandia; Thompson y Doerge, 1996, en lechuga; Thompson *et al.*, 2002, en brócoli), sin embargo, también puede haber un decremento, como lo señaló Thompson *et al.* (2000) para el cultivo de coliflor. De los resultados obtenidos se establece que mantener el cultivo de ajo a THS inferiores a 10 kPa durante todo el ciclo de cultivo, no favorece el ahorro de agua y la diferencia en rendimiento, con la estrategia de reducción gradual de la THS (T3) no es significativa. Por otra parte, la mayor producción de biomasa total (16.9 t·ha⁻¹), estuvo asociada al tratamiento con menor THS durante los tres períodos estudiados (T1), por el contrario, con el incremento gradual de la THS (T3), fue obtenida la menor producción de biomasa total (Cuadro 2), esto ocasionó que el IC variara de 0.68 en T1 a 0.74 en T3. Bertoni *et al.* (1992) obtuvieron un IC de 0.70 que es similar al promedio (0.71) de los tratamientos estudiados en el presente trabajo.

CUADRO 2. Índices de productividad del ajo cv. Tacázcuar.

Tratamiento ²	Rendimiento Biomasa (t·ha ⁻¹)	total (t·ha ⁻¹)	Índice de cosecha (kg·kg ⁻¹)	Eficiencia de uso de agua (kg·m ⁻³)
T1 (9, 7, 8 kPa)	29.3 a ^y	16.9 a	0.68 b	3.0 ab
T2 (9, 7, 19 kPa)	27.9 a	15.2 b	0.72 ab	3.1 a
T3 (9, 11, 28 kPa)	26.0 ab	15.1 b	0.74 a	3.2 a
T4 (19, 11, 8 kPa)	22.3 b	15.6 ab	0.74 a	2.5 b
DMS ($P \leq 0.05$)	4.7	1.6	0.04	0.5
CV (%)	11.2	6.5	3.8	11.3

²Las tensiones de humedad del suelo fueron en tres periodos: 0 a 90, 91 a 130 y 131 a 185 días después de la siembra.

^yMedias con distinta letra en la misma columna, para cada calibre, son diferentes de acuerdo a la prueba de DMS con $P \leq 0.05$.

CV: coeficiente de variación; DMS: Diferencia mínima significativa.

Eficiencia de uso de agua

La relación entre el rendimiento y el volumen de agua utilizado no generó diferencias entre los tratamientos T1, T2 y T3 (Cuadro 2). El valor máximo de EUA fue de 3.2 kg·m⁻³ en T3, debido a que el rendimiento total únicamente fue inferior 11 % y el ahorro de agua fue de 17 %, con respecto a T1, que fue el de mayor suministro de agua (981 mm). Similar tendencia fue reportada por Patel *et al.* (1996), en riego por goteo para el cultivo de ajo, en el cual, el rendimiento se incrementó 57 % con el tratamiento más húmedo y la EUA decreció de 1.7 a 1.4 kg·m⁻³ (25 %). En T4 fue obtenida la mínima EUA (2.5 kg·m⁻³) debido al bajo rendimiento y a la cantidad de agua empleada en este (889.9 mm), que es similar a la suministrada en T2 (899.4 mm). Fabeiro *et al.* (2003) reportaron para ajo en riego por goteo, valores de 2.018 a 2.482 kg·m⁻³, sin embargo, señalan que no encontraron diferencias significativas entre los tratamientos establecidos.

Índices de uso de N

Con respecto a los diferentes índices de uso de N evaluados no hubo diferencia significativa entre tratamientos, el promedio global de todos los tratamientos fue 414 kg·ha⁻¹ de N extraído por el cultivo, la EFN fue 65 kg·kg⁻¹ en bulbo de N extraído y finalmente el índice de cosecha de N fue de 0.75.

Calidad física del bulbo

De acuerdo a la distribución del rendimiento total por tamaño de bulbo, entre los calibres No exportable, Gigante, Jumbo, Extra jumbo y Súper jumbo, no hubo diferencia significativa entre tratamientos y en conjunto sólo representan el 18 % del rendimiento total (promedio de todos los tratamientos). Los calibres Colosal, Súper colosal y Calibre 12, fueron los que se obtuvieron en mayor proporción, 82 % en promedio y con diferencia significativa entre tratamientos (Cuadro 3). Al respecto, Fabeiro *et al.* (2003) encontraron una frecuencia del 70 % para los dos calibres de mayor diámetro encontrados en su estudio. El calibre Súper colosal fue el que se obtuvo con mayor frecuencia, más del 50 % en T1. Esta distribución del rendimiento se atribuye principalmente a la dosis de N suministrada, incrementada por el N mineral nativo del suelo; al sistema de siembra utilizado, permite mayor crecimiento del bulbo y disminuye la competencia entre plantas; por último, al régimen de humedad del suelo, que en todos los tratamientos fue superior a la Eto.

La integridad de las túnicas del bulbo es un parámetro de calidad involucrado en el valor comercial del producto. Namesny (1996), indicó que la ruptura de las túnicas exteriores en postcosecha se asocia a la emisión de brotes; la emisión de raíces y; la humedad relativa del ambiente de conservación, óptima según Maroto (1989) de 70 a 75 % con temperatura de -1.5 a 0.0 °C. Sin embargo, en el presente trabajo se observó que el rompimiento de las túnicas exteriores, está en relación directa al manejo de la

humedad del suelo, durante el desarrollo del cultivo (Cuadro 4). El incremento gradual de la THS (T3) provocó el mayor promedio de túnicas exteriores íntegras (5.6), significativamente diferente al obtenido en T2 (4.3), al parecer, debido a que el incremento de la THS durante el crecimiento del bulbo provoca su deshidratación con mayor anticipación, lo cual ocasiona la ruptura de las túnicas con más facilidad durante el manejo de postcosecha, contrario a lo que sucedió en los tratamientos T1 y T4, con promedio de túnicas exteriores íntegras, 5.0 y 5.3, respectivamente y, en los cuales no se incrementó la THS en el período de mayor crecimiento del bulbo (131 a 185 dds).

Calidad organoléptica del diente

La influencia de los diferentes tratamientos de THS en los parámetros de calidad organoléptica del diente, únicamente resultó significativa en la variable de pungencia, no así para las otras variables evaluadas cuyos valores promedio de todos los tratamientos fueron: 101.6 de hue, 6.7 de croma, 2033.5 g de firmeza y 36.1% porcentaje de peso seco.

Las concentraciones de aliína y tiosulfatos totales del diente ajo, en los tratamientos sometidos a THS de 19 y 28 kPa en el período de 131 a 185 dds (T2 y T3), fueron inferiores a aquellos establecidos con THS entre 7 y 8 kPa en este mismo período. Los valores de aliína variaron en un intervalo de 6.92 a 7.96 mg·g⁻¹ de peso fresco (Cuadro 4), los cuales son 30 y 20 % menores al valor reportado por Yoo y Pike (1998) de 9.83 mg·g⁻¹ de peso fresco. Los valores de tiosulfatos totales variaron de 28.51 a 32.03 μmol·g⁻¹ peso fresco, en T3 y T1, respectivamente; estos valores son 10 y 24 % mayores al indicado por Block *et al.* (1992), para ajo de California E.U.A, con almacenamiento típico y 60 % de humedad. La concentración de aliína (A) y tiosulfatos totales (T) fueron correlacionados lineal y positivamente: $T=3.29A+5.27$ ($r = 0.88^{***}$). Los resultados obtenidos en este trabajo, pudieron ser debidos a la

CUADRO 3. Distribución del rendimiento por calibre de bulbo de ajo cv. Tacázcuarro.

Tratamiento ²	Núm. Exportable	Gigante	Jumbo	Extra jumbo	Super jumbo	Colosal	Super colosal	Calibre 12
t·ha ⁻¹								
T1(9, 7, 8 kPa)	0.12 a ^y	0.27 a	0.61 a	0.97 a	3.00 a	7.38 ab	15.67 a	1.32 b
T2(9, 7, 19 kPa)	0.16 a	0.39 a	0.33 a	1.08 a	3.14 a	8.37 a	10.58 b	3.84 ab
T3(9, 11, 28 kPa)	0.09 a	0.25 a	0.36 a	0.75 a	2.67 a	6.11 ab	11.31 b	4.48 a
T4(19, 11, 8 kPa)	0.12 a	0.23 a	0.46 a	0.89 a	2.57 a	4.41 b	9.10 b	4.54 a
DMS ($P \leq 0.05$)	0.1	0.3	0.4	0.7	2.0	3.3	2.6	3.1
CV (%)	47.1	59.1	50.4	46.2	45.0	31.8	13.8	53.8

¹Las tensiones de humedad del suelo fueron en tres períodos: 0 a 90, 91 a 130 y 131 a 185 días después de la siembra.

²Medias con distinta letra en la misma columna, para cada calibre, son diferentes de acuerdo a la prueba de DMS con $P \leq 0.05$.

No exportable.: menos de 45 mm de diámetro; 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 a 75 mm; Calibre 12: más de 75 mm; CV: Coeficiente de variación; DMS: diferencia mínima significativa.

influencia que tiene el S en los distintos precursores de la pungencia (Randle y Lancaster, 2002), el cual, al movilizarse a la raíz principalmente por flujo de masas (Havlin *et al.*, 1999), queda condicionado a que un incremento de la THS, en el período de mayor demanda nutrimental, reduzca la concentración de sulfatos en la interfase suelo-raíz, lo cual puede disminuir la concentración en el bulbo de los compuestos azufrados precursores de la pungencia. Resultados publicados por Randle *et al.* (2002) en cebolla, indican que la reducción de la concentración de sulfatos, pocos días antes de la cosecha, provoca mayor concentración de precursores de la pungencia, que cuando ésta se realiza con mayor anticipación. Sin embargo, Randle y Lancaster (2002) señalaron que el uso de agua y absorción de sulfatos, en el cultivo de cebolla, está pobremente correlacionada ($r = 0.09$).

CUADRO 4. Efecto de la tensión de humedad del suelo sobre distintas variables de calidad física y organolépticas del diente ajo cv. Tacázcuar.

Tratamiento ²	Número de tunicas	Aliína (mg·g ⁻¹ PF)	Tiosulfatos totales (μmol·g ⁻¹ PF)
T1(9, 7, 8 kPa)	5.0 a'	7.96 a	32.03 a
T2(9, 7, 19 kPa)	4.3 b	7.24 b	28.91 b
T3(9, 11, 28 kPa)	5.6 a	6.92 b	28.51 b
T4(19, 11, 8 kPa)	5.3 a	7.44 ab	28.89 b
DMS ($P \leq 0.05$)	0.6	0.67	2.57
CV (%)	7.8	5.64	5.44

¹Las tensiones de humedad del suelo fueron en tres períodos: 0 a 90, 91 a 130 y 131 a 185 días después de la siembra.

²Medias con distinta letra en la misma columna, para cada factor, son diferentes de acuerdo a la prueba de DMS con $P \leq 0.05$.

CV: Coeficiente de variación; PF: Peso fresco; DMS: diferencia mínima significativa.

CONCLUSIONES

La THS inferior a 10 kPa durante todo el ciclo del cultivo de ajo regado por goteo, maximiza el rendimiento y calidad del bulbo de ajo, sin embargo, no aumenta la EUA y el número de tunicas íntegras.

El aumento de la THS en el periodo de crecimiento del bulbo (131 a 185 dds), provocó el menor número de tunicas íntegras, con lo cual disminuye la calidad postcosecha de la producción.

El incremento gradual de la THS (9, 11 y 28 kPa) durante el ciclo de cultivo, resultó ser mejor estrategia de manejo del riego por goteo, debido a que el rendimiento obtenido en este tratamiento no es significativamente diferente al rendimiento máximo, además se obtuvo la mayor EUA y número de tunicas íntegras, sin embargo, la concentración de aliína y tiosulfatos totales fueron las más bajas. La restricción de humedad al inicio del desarrollo vegetativo del ajo fue la principal causa de disminución del rendimiento y en consecuencia de la EUA. Sin embargo,

no repercutió significativamente en el número de tunicas y concentración de aliína y tiosulfatos totales.

LITERATURA CITADA

- ALLEN, R. G.; PAREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage. No. 56. Roma, Italia.
- ASERCA. 1999. El ajo mexicano; una combinación de temporalidad y tecnología. Revista Claridades Agropecuarias 68: 8.
- BERTONI, G.; MORARD, P.; SOUBIEILLE, C.; LLORENS, J. M. 1992. Growth and nitrogen nutrition of garlic (*Allium sativum* L.) during bulb development. Scientia Horticulturae 50: 87-195.
- BLOCK, E.; NAGANATHAN, S.; PUTMAN, D.; ZHAO, S-H. 1992. *Allium* Chemistry: HPLC analysis of thiosulfates from onion, garlic, wild garlic (ramsoms), leek, scallion, shallot, elephant (great-headed) garlic, chive, and chinese chive. Uniquely high allyl to methyl ratios in some garlic samples. J. Agric. Food Chem. 40: 2418-2430.
- BREWSTER, J. I.; RABINOWITCH, H. D. 1990. Garlic agronomy, pp. 147-157. In: Onions and allied crops. Vol. III. Biochemistry, food science, and minor crops. J. L. Brewster; H. D. Rabinowitch (eds.). Ed. CRC Press. Boca Raton, FL. USA.
- CASTELLANOS, J. Z.; VILLALOBOS, S.; DELGADO, J. A.; MUÑOZ-RAMOS, J. J.; SOSA, A.; VARGAS, P.; LAZCANO, I.; ÁLVAREZ-SÁNCHEZ, E.; ENRIQUEZ, S. A. 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.; OJODEAGUA, J. L.; MENDEZ, F.; VILLALOBOS-REYES, S.; BADILLO, V.; VARGAS, P.; LAZCANO-FERRAT, I. 2001b. Phosphorus requirements by garlic under fertigation. Better Crops International. 15(2): 21-23.
- FABEIRO C., C.; MARTÍN DE SANTA OLALLA, F. J.; LÓPEZ U., R. 2003. Production of garlic (*Allium sativum* L.) under controlled deficit irrigation in semi-arid climate. Agric. Water Manage. 59: 155-167.
- HAGIN, J.; LOWENGART, A. 1996. Fertigation for minimizing environmental pollution by fertilizers. Fertilizer Res. 43: 5-7.
- HAN, J.; LAWSON, L.; HAND, G.; HAN, P. 1995. Spectrophotometric method for quantitative determination of allicin and total garlic thiosulfates. Anal. Biochem. 225: 157-160.
- HAVLIN, J. L.; BEATON, J. D.; TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. 1999. Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrition management. Sixth Edition. Ed. Prentice Hall. USA. 485 pp.
- HEREDIA, A.; HEREDIA, E.; LABORDE, J. A. 1997. Number of cloves per bulb; selection criteria for garlic improvement II. Results with "Taiwán" type. Acta Hort. 433: 271-277.
- IBERL, B.; WINKLER, G.; MULLER, B.; KNOBLOCH, K. 1990. Quantitative determination of allicin and alliin from garlic by HPLC. Planta Medica 56: 320-326.
- JONES, B.; WOLF, B.; MILLS, H. A. 1991. Plant analysis handbook. Ed. Micro Macro Publishing, Inc. Athens, GA. USA.
- LANCASTER, J. E.; BOLAND, M. J. 1990. Flavor biochemistry. 33-72 pp. In: Onions and Allied Crops. Volume III. Biochemistry, Food Science, and Minor Crops. Boca Raton, FL. CRC Press.
- MAROTO, J. V. 1989. Horticultura herbácea especial. 3ª edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. España 566 pp.

- NAMESNY V., A. 1996. Post-recolección de hortalizas. Vol. II. Bulbos, tubérculos, rizomas. Ediciones de Horticultura. España.
- PIER, J. W.; DOERGE, T. A. 1995. Nitrogen and water interactions in trickle-irrigated watermelon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 145-150.
- PATEL, B. G.; KHANPARA, V. D.; MALAVIA, D. D.; KANERIA, B. B. 1996. Performance of drip and surface methods of irrigation for garlic (*Allium sativum*) under varying nitrogen levels. *Indian J. Agron.* 41: 174-176.
- RANDLE, W. M.; LANCASTER, J. E. 2002. Sulphur compounds in alliums in relation to flavor quality. 329-356 pp. *In*: H.D. Rabinowitch y L. Currah (eds). *Allium Crop Science: Recent advances*. CAB International 2002.
- RANDLE, W.M.; KOPSELL, D.E.; KOPSELL, D.A. 2002. Sequentially reducing sulfate fertility during onion growth and development affects bulb flavor at harvest. *HortScience* 37: 118-121.
- TIJERINA CH., L. 1999. Requerimientos hídricos de cultivos bajo sistemas de fertirrigación. *Terra* 17: 237-245.
- SAS. 1995. SAS User Guide. SAS Institute. Statistic. Cary, N.C., USA.
- THOMPSON, T. L.; DOERGE, T. A. 1996. Nitrogen and water interactions in subsurface trickle-irrigated leaf lettuce II. agronomic, economic, and environmental outcomes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 168-173.
- THOMPSON, T. L.; DOERGE, T. A.; GODIN, R. E. 2000. Nitrogen and water interactions in subsurface drip irrigated cauliflower: II. agronomic, economic, and environmental outcomes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 412-418.
- THOMPSON, T. L.; DOERGE, T. A.; GODIN, R. E. 2002. Subsurface drip irrigation and fertigation of broccoli. II. agronomic, economic, and environmental outcomes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 178-185.
- TURNER, N. C. 1990. Plant water relations and irrigation management. *Agric. Water Manage.* 17: 59-63.
- YOO, K. S.; PIKE, L. M. 1998. Determination of flavor precursor compound S-alk(en)yl-L-cysteine sulfoxides by HPLC method and their distribution in *Allium* species. *Scientia Horticulturae* 75: 1-10.