

TENSIÓN DE HUMEDAD DEL SUELO Y RENDIMIENTO DE FRUTO EN LIMÓN ITALIANO

SOIL MOISTURE TENSION AND FRUIT YIELD OF ITALIAN LEMON

Alejandro Zermeño-González^{1,*}, Miguel Ángel García-Delgado², Blanca I. Castro-Meza³
y Héctor Rodríguez-Rodríguez³

¹Departamento de Riego y Drenaje, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 25315, Saltillo, Coahuila, México. ²Unidad Académica Multidisciplinaria Mante-Centro, Universidad Autónoma de Tamaulipas. ³Unidad Académica Multidisciplinaria Agronomía y Ciencias, Universidad Autónoma de Tamaulipas. Ciudad Victoria, Tamaulipas.

*Autor para correspondencia (azermeno@uaaan.mx)

RESUMEN

En los sistemas de riego presurizados establecidos en la región cítrica de Tamaulipas, los productores no miden la humedad del suelo para programar la irrigación. Por ello, el objetivo de esta investigación fue analizar el efecto de diferentes tensiones de humedad del suelo en el rendimiento y tamaño de frutos de limón italiano (*Citrus limon* L.). El estudio se hizo en una huerta de limón italiano variedad 'Limonaria 8A' de 7 años de edad, ubicada en el municipio de Güemez, Tamaulipas, México. Los tratamientos (T) evaluados fueron: Iniciar el riego a una tensión de la humedad del suelo de 30 kPa (T1); 50 kPa (T2); 70 kPa (T3), medida a 0.3 m de profundidad; más un testigo que consistió en la programación del riego utilizada por los productores de la región, que se basa en una apreciación visual del requerimiento hídrico del árbol (cuando las hojas empezaban a doblarse). En la primera cosecha que se hizo en Septiembre de 2000, no hubo diferencia estadística entre tratamientos, en rendimiento de fruto, debido a que los riegos aplicados al testigo resultaron en una baja tensión. Sin embargo, el diámetro del fruto de los tratamientos de 30 y 50 kPa fue mayor ($P \leq 0.05$) que el del testigo, mientras que la lámina total aplicada al tratamiento de 30 kPa, fue menor que la del testigo y que los tratamientos de 50 y 70 kPa, debido a riegos más frecuentes y de menor lámina. En la cosecha que se hizo a finales de agosto de 2001, todos los tratamientos de tensión fueron mayores ($P \leq 0.05$) que el testigo; el mayor rendimiento de fruto se observó en el tratamiento de 30 kPa con 43.93 t ha⁻¹, mientras que el rendimiento del testigo fue 25.6 t ha⁻¹. El rendimiento, diámetro y relación de sólidos solubles de frutos en los tratamientos de tensión, también fueron estadísticamente superiores al testigo. Nuevamente, la lámina de riego total aplicada en el tratamiento de 30 kPa fue menor que la aplicada a los tratamientos de 50 y 70 kPa, lo que indica una mejor eficiencia del uso del agua al programar la irrigación a 30 kPa.

Palabras clave: *Citrus limon*, microaspersión, rendimiento de fruto, tensión de humedad del suelo.

SUMMARY

On the pressurized irrigation systems established on the citrus orchards in Tamaulipas, growers do not measure the soil water content for irrigation scheduling. Therefore, the objective of this research was to analyze the effect of different soil moisture tensions on fruit yield and size of the Italian lemon (*Citrus limon* L.). The field study was conducted from November 1999 to September 2001, in a seven year orchard of Italian lemon cv. Limonaria 8A located at Güemez, in Tamaulipas State, México. Treatments (T) were: initiate irrigation at 30 kPa (T1); 50 kPa (T2); 70 kPa (T3) of soil water tension measured at 0.3 m of soil depth respectively; and a control representing irrigation by the local producers, in which watering was based on visual symptoms of water stress (when the leaves began to wilt). The first harvest was in September 2000, and no statistical difference among treatments was observed in fruit yield, because the irrigation applied to the control resulted in a low soil water tension. However, fruit diameters of the 30 and 50 kPa treatments were larger ($P \leq 0.05$) than the control, and the total irrigation depth applied was smaller than that applied to the other treatments, due to a more frequent watering of less irrigation depth. On the harvest made in the last week of August 2001, all treatments of soil moisture were higher ($P \leq 0.05$) than the control. The highest fruit yield was registered in 30 kPa with 43.93 t ha⁻¹, while the yield of the control was 25.6 t ha⁻¹. Fruit size and content of soluble solids of the tension treatments were also higher ($P \leq 0.05$) than the control. Again, total irrigation depth applied to the 30 kPa treatment was lower than the amounts applied to the other treatments, thus indicating a better water use efficiency by scheduling irrigation at 30 kPa of soil moisture tension.

Index words: *Citrus limon*, microsprinkler, fruit yield, soil moisture tension.

INTRODUCCIÓN

Los cítricos están entre los frutales más importantes del mundo. La citricultura es la actividad agrícola de mayor importancia económica en la zona centro del Estado de Tamaulipas. Este estado ocupa el tercer lugar en la producción nacional, con una superficie establecida de 40 557 ha, de las cuales 86.7 % son de naranja (*Citrus sinensis* L.), 8.9 % de limón italiano (*Citrus limon* L.) y el resto de toronja (*Citrus x paradisi*) y mandarina (*Citrus reticulata*) (SAGARPA, 2003). Los productores de la zona centro del estado carecen de suficiente agua para la producción de cítricos, pues solamente 62.4 % de la superficie establecida (35 780 ha) es regada mediante bombeo de agua de los acuíferos; de esta superficie, 56.92 % (20 365 ha) es regada por gravedad y 43.07 % (15 413 ha) por microaspersión y goteo (SAGARPA, 2001).

De la superficie total de limón establecida (3600 ha), 1405 ha se riegan con sistemas de riego por gravedad y 2216 ha con microaspersión y goteo. De la superficie de limón italiano regada, 73 % tiene como fuente de suministro de agua los mantos acuíferos de la región. Estas cifras muestran la gran explotación de los acuíferos que se realiza para la producción de cítricos, y también la necesidad de mejorar la eficiencia del riego para incrementar la productividad con menor uso de agua, ya que actualmente los dos acuíferos de la región de la zona citrícola están sobreexplotados y en veda, pues muestran abatimientos de hasta 1 m/año, mientras que la eficiencia promedio del uso del agua en el riego localizado es de 70 % (CNA, 2001)

De los diferentes métodos para medir el contenido de agua en el suelo, el tensiómetro se adapta muy bien a los sistemas de riego por goteo y microaspersión (riegos localizados de alta frecuencia) (Baker, 1990) y es apropiado para su aplicación en cítricos (Campbell, 1990; Paramasivam *et al.*, 2000; Boman *et al.*, 1999). El tensiómetro funciona bajo el principio de vacío parcial, el cual se produce en una cámara cerrada por la salida de agua a través de una cápsula porosa (generalmente porcelana o cerámica) en contacto con el suelo. El agua se filtra a través de la cápsula porosa (membrana) hasta que el potencial mátrico del agua en el suelo y la cápsula porosa se equilibran (Campbell, 1990). Una adecuada calibración y operación de los tensiómetros permite una eficiente programación del riego para determinar cuándo y cuánta agua aplicar (Alam y Rogers, 1997; Tyson y Curtis, 1998; Hensley y Deputy, 1999; Hanson *et al.*, 2000).

Los tensiómetros deben calibrarse previamente con el método gravimétrico en el sitio donde se usarán, para obtener la relación entre tensión y contenido de humedad del suelo, y luego colocarse a la profundidad de mayor actividad radical de los árboles (Domínguez, 1993; Morín, 1985). Para un buen desarrollo y rendimiento de los cítricos, la lectura de los tensiómetros debe mantenerse entre 20 y 60 kPa (Amorós, 1999; Agustí, 1999). Por ejemplo, Du Plessis (1988) obtuvo un rendimiento de 53.7 t ha⁻¹ de naranja 'Valencia' cuando los riegos se aplicaron a una tensión de 50 kPa medidos a 0.30 m de profundidad. Según Ryugo (1994), para las huertas de frutales se recomienda iniciar el riego a una tensión de humedad del suelo de 40 kPa, y afirma que existe una relación directa entre el potencial mátrico del suelo y el potencial hídrico de las hojas.

A la fecha, la mayoría de los productores de cítricos del Estado de Tamaulipas no miden la humedad del suelo para definir la lámina de riego y el tiempo de aplicación, para realizar una buena programación del riego. Con la implementación del uso de tensiómetros para determinar el momento oportuno y la lámina por aplicar, se podría incrementar hasta 85 % la eficiencia del riego localizado en la región. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de

diferentes tensiones de la humedad del suelo para iniciar el riego, en cuanto al rendimiento, tamaño y calidad del fruto de limón Italiano, en comparación con el rendimiento obtenido con el método tradicional de aplicación del riego que consiste en una apreciación visual del requerimiento hídrico del árbol (cuando las hojas empiezan a doblarse)

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y características del área de estudio

La investigación se hizo en el periodo comprendido de noviembre de 1999 a septiembre de 2001, en una huerta de limón italiano localizada en el municipio de Güemez, Tamaulipas, México. La ubicación geográfica de la huerta es 23° 51' 00" LN y 99° 06' 24" LO, a una altitud de 211 m (INEGI, 1999). El clima predominante de la región es semi-húmedo cálido con temperatura media anual de 23.3 °C, una precipitación promedio anual de 787 mm y evaporación de 1844 mm (CNA, 2002). Los vientos dominantes en el invierno provienen del norte y en el verano del sureste.

Se usaron árboles de limón de la variedad 'Limonaria 8A', de siete años de edad, con un marco de plantación rectangular, arreglo de 8 m entre hileras y 5 m entre árboles (250 árboles/ha). El predio cuenta con un sistema de riego por microaspersión, con un emisor por árbol que aplica un gasto promedio de 45.5 L h⁻¹ a una presión de operación de 0.18 MPa. El diámetro promedio de la copa de los árboles era de 4.6 m. El suelo se clasifica como vertisol crómico de textura media y con buena capacidad de retención de humedad.

Los análisis físicos y químicos indican que es un suelo calcáreo, moderadamente alcalino (pH = 7.8), sin problemas de sales (Conductividad eléctrica=1.16 dS m⁻¹), con buen contenido de N y K, y deficiente contenido de P en los primeros 0.6 m de profundidad, y buen contenido de materia orgánica (1.95 %). El agua de riego es ligeramente alcalina (pH = 7.4), que se clasifica como C3S1 de salinidad moderada baja en sodio (Ortiz, 1997). En una caracterización nutricional foliar inicial hecha el 15 de noviembre de 1999, se encontraron contenidos bajos de nitrógeno, fósforo y magnesio, y niveles deficientes de zinc; el resto de nutrientes se encontró en niveles óptimos (Benton *et al.*, 1991). La densidad aparente del suelo se determinó con el método de la parafina, en tres repeticiones por estrato: 0-0.3, 0.3-0.6 y 0.6-0.9 m

Diseño experimental y tratamientos

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con cuatro tratamientos de tensión de humedad del suelo medida a 0.30 m de profundidad, y cuatro repeticiones (cada árbol representó una unidad experimental). Los tratamientos fueron: Inicio del riego a una tensión de humedad

del suelo de 30 kPa (T1); 50 kPa (T2); 70 kPa (T3); y el testigo (T4) que consistió en riegos aplicados por el propietario de la huerta, basados en una apreciación visual (cuando las hojas empezaban a doblarse) de los requerimientos hídricos de los árboles en la huerta.

El efecto de la tensión de humedad del suelo en el rendimiento y tamaño de frutos, se midió en cuatro árboles por tratamiento (cada árbol representó una repetición). Las variables agronómicas evaluadas en los dos ciclos de cultivo 1999-2000 y 2000-2001, fueron: rendimiento ($t\ ha^{-1}$) y diámetro ecuatorial de frutos; y el contenido de sólidos solubles totales ($^{\circ}Brix$) se evaluó únicamente en el ciclo de cultivo 2000-2001. El rendimiento ($t\ ha^{-1}$) se obtuvo del rendimiento por árbol de cada tratamiento ($kg/\text{árbol}$) multiplicado por el número de árboles por ha. El diámetro ecuatorial de frutos (vernier) y los grados $^{\circ}Brix$ (refractómetro manual Atago ATC-1E con compensación automática de temperatura) se midieron en una muestra de 25 frutos del total cosechado de cada unidad experimental.

Medición de la humedad y tensión del suelo

Para obtener la relación entre el contenido de humedad del suelo y la tensión medida con los tensiómetros, se hizo una calibración cruzada entre el contenido de humedad obtenida con el método gravimétrico (g de agua/ g de suelo) y la tensión de la humedad del suelo registrada con cuatro tensiómetros (kPa), instalados a las profundidades de 0.3, 0.6 y 0.9 m. Con los valores promedio de contenido de humedad de tales estratos correspondientes a los valores promedio de tensión de 10, 30, 50 y 70 kPa, se determinó la lámina de agua para cada estrato con la siguiente ecuación:

$$L = \theta_{wi} (\rho_{ai} / \rho_w) Z \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde: L es la lámina de agua ($mm / 0.3\ m$ de suelo); θ_{wi} es el contenido de humedad (g agua/ g suelo) correspondiente a la tensión i , $i = 10, 30, 50$ y $70\ kPa$; ρ_{ai} y ρ_w son la densidad aparente ($Mg\ m^{-3}$) del estrato correspondiente (i) y la densidad del agua ($Mg\ m^{-3}$) respectivamente; y Z es la profundidad del estrato ($0.3\ m$). Con los valores promedio de L (tres muestras) para cada valor de tensión en cada estrato, se ajustó una ecuación logarítmica para determinar la lámina de agua retenida para cada valor de tensión, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$L = B_0 + B_1 \times \ln(T) \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde: L es la lámina de agua retenida ($mm/0.30\ m$ de suelo); T es la tensión (kPa); y B_0 y B_1 son los coeficientes de regresión de la ecuación. Estudios previos en suelos francos (Tyson y Curtis, 1998) demostraron que el contenido de humedad correspondiente a una lectura del tensióme-

tro de 15 kPa, corresponde a la máxima capacidad de retención de agua de dicho suelo. Las láminas de agua por reponer para las tensiones de 30, 50 y 70 kPa se calcularon con la relación:

$$L_{rep} = (L_{15KPa} - L_{xi}) \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde: L_{rep} es la lámina de agua por reponer (mm); L_{15KPa} es la lámina retenida a 15 kPa (mm); y L_{xi} es la lámina retenida (mm) a 30, 50 y 70 kPa, respectivamente. La lámina total por aplicar se calculó con la suma de la lámina por reponer de cada estrato.

El volumen de riego aplicado a cada tratamiento (V_i) se calculó al multiplicar la lámina de riego del tratamiento " i " por el área de sombreado promedio de la copa de los árboles, la que se determinó con el valor medio del diámetro de la copa de ocho árboles, dividida por la eficiencia de aplicación de los microaspersores. El tiempo de riego (Tr) para reponer la humedad del suelo en cada tratamiento se calculó al dividir V_i entre el gasto nominal (q) de los microaspersores de riego.

La humedad aprovechable del suelo y, por tanto, el contenido de humedad a capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) de cada estrato de suelo, se obtuvo con el método de la olla de presión. La lámina de agua aprovechable (mm agua/ $0.3\ m$ de suelo) de los estratos se determinó con la siguiente ecuación:

$$Lam_apr = [CC - PMP] \frac{\rho_a}{\rho_w} Z \quad (\text{Ec. 4})$$

La fracción de humedad aprovechable consumida del perfil de 0 a 0.9 m de suelo, correspondiente a cada valor de tensión (30, 50 y 70 kPa) se obtuvo, al dividir la suma de la lámina de agua por reponer en los tres estratos para cada valor de tensión entre la suma de la lámina de agua total aprovechable de 0 a 0.9 m de profundidad.

Manejo agronómico

Las principales labores agronómicas del manejo realizadas fueron: aplicación de fertilizantes al suelo y por vía foliar, y la eliminación de maleza. Para la fertilización se usó la dosis 25N-10P-30K con suplementos de $2.4\ L\ ha^{-1}$ por año de ácidos húmicos, las cuales se fraccionaron en nueve aplicaciones que se inyectaron al sistema riego por fertirrigación. En el primer ciclo de cultivo se hicieron cuatro aplicaciones foliares de micronutrientes quelatados adicionados con ácidos fúlvicos; en el segundo ciclo agrícola se dieron tres aplicaciones foliares de productos similares. Para mantener los cítricos libres de maleza se realizaron tres

aplicaciones por año de herbicidas, Glifosfato® al 6 % y Hierbamina® (Amina-6) a 1 %, complementadas con deshierbes mecánicos (tractor) en las calles y manuales en el área de sombreado de los árboles. Las labores culturales fueron iguales en todos los tratamientos evaluados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades físicas y químicas del suelo y contenido de humedad en función de la tensión

Las propiedades físicas y químicas del suelo, que incluyen la densidad aparente para cada estrato, se muestran en el Cuadro 1. Estos valores indican que el suelo es bastante homogéneo en las propiedades evaluadas en los tres estratos considerados, con excepción del contenido de materia orgánica, el cual es más bajo en el estrato de 0.6 a 0.9 m.

Los contenidos de humedad promedio para cada valor de tensión en cada estrato, se muestran en el Cuadro 2. Estos indican que es un suelo con las propiedades típicas de densidad y retención de humedad de una textura franca (Narro-Farías, 1994), sin problemas de salinidad y adecuado para el establecimiento de cítricos (Agustí, 1999; Leos,

2001). Con esta información y la Ec. 1, se determinó la lámina de agua retenida para cada valor de tensión (Cuadro 3). Las ecuaciones ajustadas para determinar la lámina de agua retenida (mm) en función de la tensión registrada por los tensiómetros (kPa), se muestran también en el Cuadro 3.

Programación del riego

Las láminas de agua por reponer para cada valor de tensión se calcularon con la Ec. 3, donde los valores de lámina retenida para las diferentes tensiones se calcularon con las ecuaciones ajustadas del Cuadro 3. El microaspersor utilizado en el sistema de riego tuvo un gasto nominal de 45.5 L h⁻¹ a una presión de operación de 0.18 MPa y una eficiencia promedio de aplicación de 85 %. El diámetro promedio de la copa de los árboles fue de 4.6 m, que equivalió una área promedio de sombreado de 16.62 m². Con esta información se determinó la lámina total por aplicar, el volumen de agua y el tiempo de riego correspondientes para cada valor de tensión, y se muestran en el Cuadro 4. La fracción de la humedad aprovechable consumida del perfil de suelo de 0 a 0.9 m, para cada valor de tensión, fue: 16.46, 29.22 y 37.38 %, para 30, 50 y 70 kPa, respectivamente.

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas del suelo en el sitio de estudio.

Profundidad (cm)	Textura	Da ⁺ (g cm ⁻³)	pH	Materia orgánica (%)	CE ⁺⁺ (dS m ⁻¹)
0-30	Franco	1.13	7.8	2.55	1.16
30-60	Franco	1.13	7.8	1.36	1.14
60-90	Franco	1.22	7.8	0.05	2.00

⁺Da = Densidad aparente; ⁺⁺CE = Conductividad eléctrica.

Cuadro 2. Contenido de humedad promedio en el suelo para los diferentes registros de tensión evaluadas con los tensiómetros en cada estrato de suelo.

Tensión del suelo (kPa)	Contenido de humedad promedio (g agua/g suelo)		
	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
10	0.206	0.176	0.176
30	0.146	0.149	0.155
50	0.124	0.123	0.125
70	0.106	0.105	0.110

Cuadro 3. Lámina de agua retenida (mm/0.3 m de suelo) para cada valor de tensión en los diferentes estratos y ecuaciones correspondientes de ajuste para determinar la lámina de agua retenida (L) en función de la tensión (T).

Tensión del suelo (kPa)	Estrato (m)		
	0-0.3	0.3-0.6	0.6-0.9
10	69.9	59.5	64.6
30	49.5	50.6	56.6
50	42.0	41.9	45.9
70	36.1	35.5	40.4
	L=109.30-17.29 Ln(T) r ² = 0.998	L=88.54-12.02 Ln(T) r ² = 0.957	L=94.58-12.31 Ln(T) r ² = 0.938

Los tiempos y frecuencias de riego en el tratamiento testigo fueron irregulares, con una variación de 6 a 20 h de tiempo de riego e intervalos o frecuencias de riego variables, mientras que en los tratamientos de tensión los intervalos de riego fluctuaron entre 5 y 10 d.

A partir de la segunda quincena de febrero de 2000 se inició la aplicación de los riegos, de acuerdo con las tensiones definidas para cada tratamiento con un margen de ± 5 kPa, y el riego del testigo. Las Figuras 1, 2 y 3 muestran el patrón de variación de la tensión de humedad del suelo de marzo a agosto en el estrato de 0.3 m de profundidad, para los tres tratamientos de tensión (30, 50 y 70 kPa) y el testigo. El descenso brusco de la tensión que se observa en el registro, indica que se aplicó el riego. Patrones similares se observaron durante los dos ciclos de crecimiento. Del 1 al 30 de agosto de 2000 el tratamiento testigo se sobre-irrigó debido al efecto combinado de los riegos aplicados (6) y la lluvia registrada en el mismo periodo (128.5 mm), por lo que la tensión de humedad del suelo se mantuvo en alrededor de 15 kPa la mayor parte del tiempo, mientras que el riego en los tratamientos se aplicó cuando se registraron los valores de tensión preestablecidos con un margen de ± 5 kPa (Figura 2). En las Figuras 1 y 3 se muestra que los riegos en los tratamientos se aplicaron cuando se registraron los valores de tensión preestablecidos, mientras que los riegos en el testigo se aplicaron sin control de la tensión de humedad del suelo.

Ciclo 1999-2000

La cosecha correspondiente al ciclo de cultivo 1999-2000 se hizo el 13 de septiembre de 2000. Las lluvias ocurridas de febrero a agosto del 2000 (315.5 mm) y los riegos aplicados al tratamiento testigo, indujeron un alto contenido de humedad y baja tensión (Figuras 1 y 2), y el rendimiento fue estadísticamente igual (Tukey, 0.05) al de los tratamientos de tensión (Cuadro 5). Sin embargo, el tamaño del fruto (diámetro ecuatorial) de los tratamientos de 30 y 50 kPa (16.4 y 29.2 % de abatimiento de humedad aprovechable, respectivamente) fue estadísticamente mayor que el del testigo (Cuadro 5), lo que indica un efecto favorable de la programación del riego a 30 y 50 kPa en el tamaño del fruto. El mercado de exportación demanda un tamaño promedio de fruto de 6.11 a 6.53 cm de diámetro, por lo que el tratamiento de 70 kPa y el testigo no cumplieron con los requisitos de exportación en este ciclo de producción.

Si bien en el tratamiento de 30 kPa se aplicaron más riegos éstos fueron de menor volumen, por lo que la lámina total aplicada fue menor que la de los tratamientos de 50 y 70 kPa (Cuadro 5). Esto indicó que programar los riegos a 30 kPa mejora la eficiencia del uso del agua, ya que se producen menos pérdidas de agua por evaporación, escurrimiento y precolación profunda, puesto que la mayor absorción del sistema radical de los cítricos ocurre en los prime-

ros 0.5 m de profundidad (Boman *et al.*, 1999; Paramasivam *et al.*, 2000).

El aprovechamiento del agua por los árboles también se mejoró al programar la irrigación a 30 kPa, ya que el rendimiento de fruto fue hasta 4 t ha⁻¹ mayor que en el de 70 kPa. Esto se debe a que los árboles sufren menos estrés hídrico al tener un menor intervalo entre riegos. Valores similares han sido reportados para el limón 'Persa' (*Citrus latifolia* T), en el que se recomienda iniciar el riego cuando se consuma 32 % de la humedad aprovechable (Toledo, 1996). Asimismo, la naranja 'Valencia' debe regarse cuando consuma 33 % de la humedad aprovechable (Koo y Smajstrla, 1984). Por su parte, Holzapfel *et al.* (2001) encontraron que el mejor rendimiento de los cítricos se obtiene cuando el riego se aplica a valores próximos a capacidad de campo, en los primeros 0.6 m de profundidad radical.

Ciclo 2000-2001

La cosecha de fruto correspondiente al ciclo de cultivo 2000-2001, se llevó a cabo el 28 de agosto de 2001. En este ciclo de producción se registró una lluvia acumulada de 357.6 mm entre de febrero y agosto. El rendimiento de fruto entre los tres tratamientos de tensión fue estadísticamente igual, pero todos superiores al testigo (Cuadro 6). El diámetro ecuatorial de frutos y los sólidos solubles totales también fueron estadísticamente igual entre los tres tratamientos de tensión, y todos ellos mayores que el testigo. En este ciclo de producción, únicamente el testigo no cumplió con los estándares de tamaño de fruto (6.11 a 6.53 cm) del mercado de exportación.

Estos resultados nuevamente muestran que al programar la irrigación a 30 kPa, se utiliza una lámina de agua total menor que al aplicar riegos más frecuentes aunque de menor lámina. A pesar de que el número de riegos aplicados al tratamiento testigo fue mayor (Cuadro 6), éstos se aplicaron a intervalos muy irregulares y con láminas muy variadas que resultaron en una lámina total aplicada menor que en los tratamientos de tensión, lo que ocasionó estrés hídrico a los árboles y reducción en el rendimiento. Estos resultados son similares a los reportados por Amorós (1999) y Agustí (1999) en limón, Du Plessis (1988) en naranjo 'Valencia' y Hanson *et al.* (2000) en cítricos de California. De igual forma, Tyson y Curtis (1998) recomendaron mantener una humedad aprovechable no menor de 50 % para mejorar el rendimiento de cítricos. Según Holzapfel *et al.* (2001), las variables de calidad del fruto, como peso promedio, diámetro ecuatorial y contenido de jugo, muestran un incremento en función de la aplicación del riego a contenidos de humedad próximos a capacidad de campo.

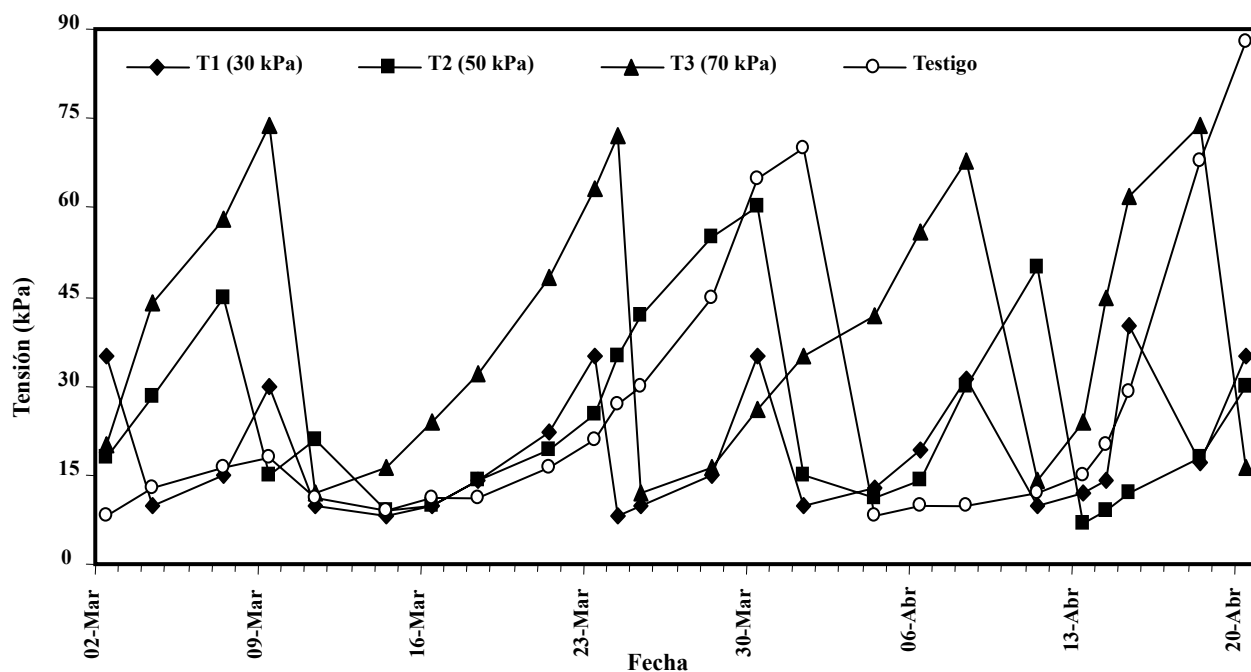


Figura 1. Tensión de humedad del suelo en huertos de limón italiano, observada con el tensiómetro instalado a 0.3 m de profundidad.

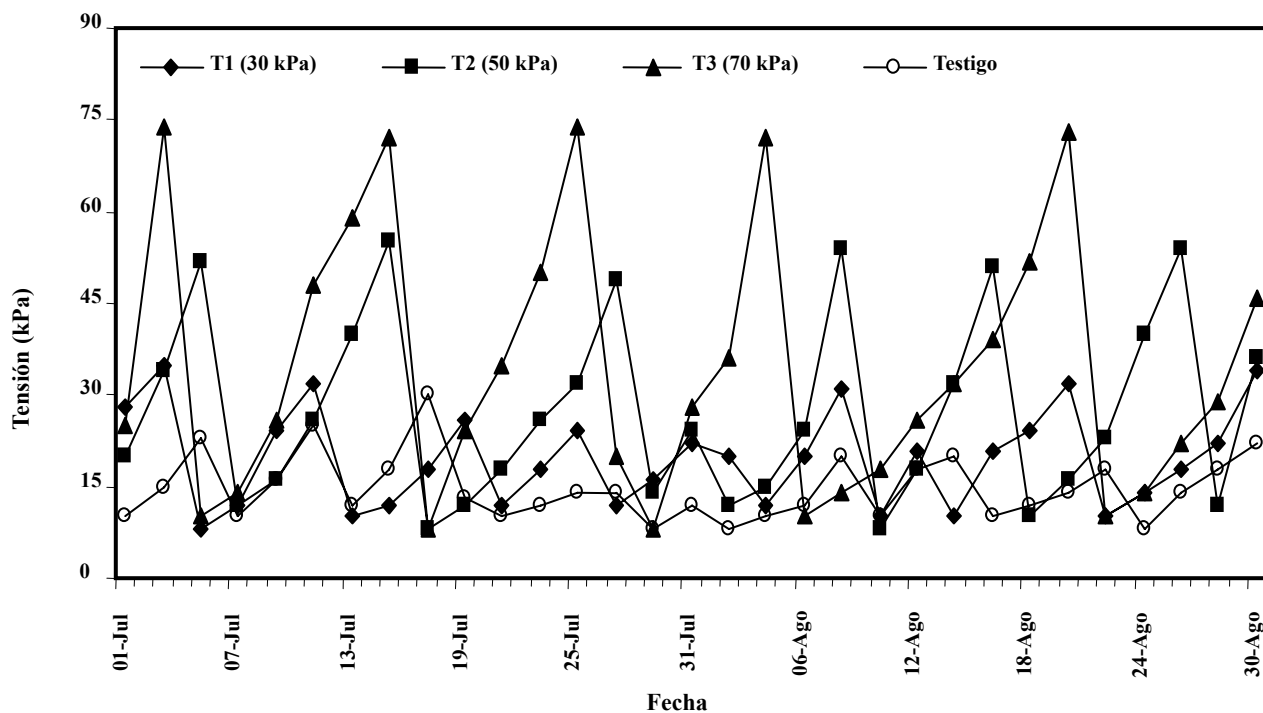


Figura 2. Tensión de humedad del suelo en huertos de limón italiano, medida con un tensiómetro instalado a 0.3 m de profundidad.

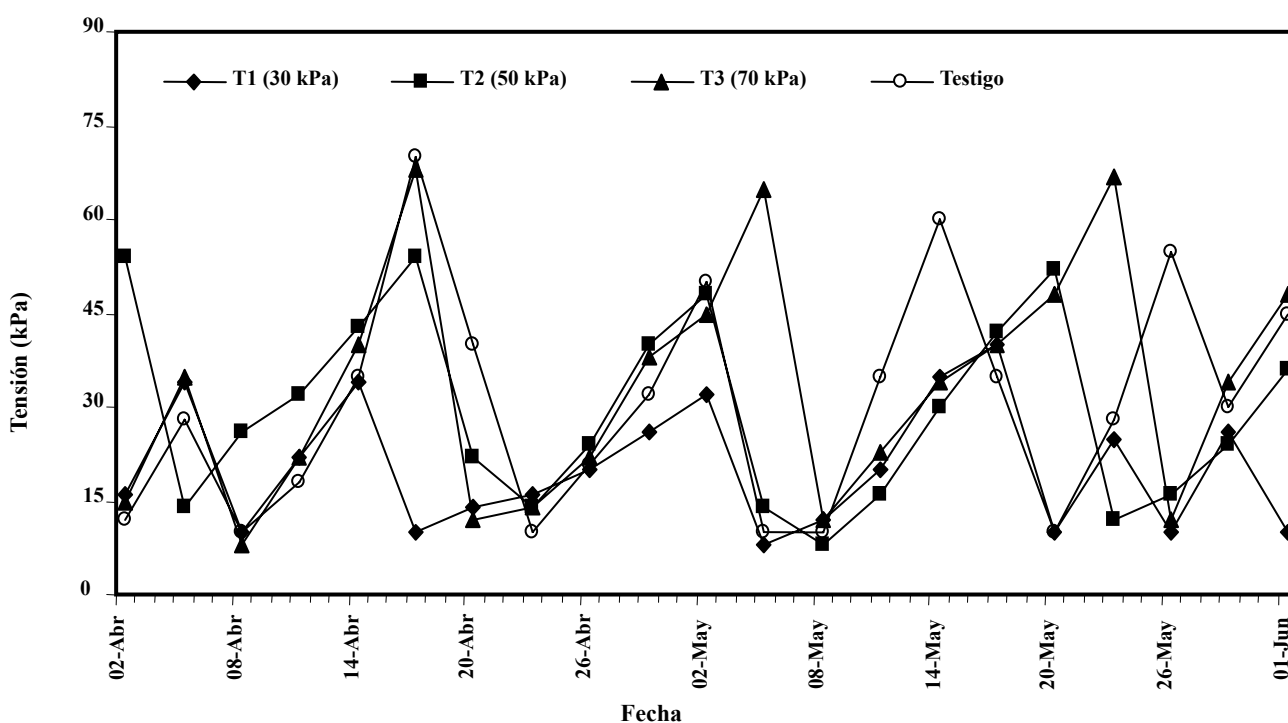


Figura 3. Tensión de humedad del suelo en huertos de limón italiano, medida con un tensiómetro instalado a 0.3 m de profundidad.

Cuadro 4. Lámina de agua por reponer al suelo (mm) para cada valor de tensión, lámina total, volumen de agua por aplicar y tiempos de riego.

Tensión del suelo (kPa)	Lámina (mm)			Lámina total (mm)	Volumen (L)	Tiempo de riego (h)
	0-0.3	0.3-0.6	0.6-0.9			
30	11.99	8.33	8.53	28.85	564	12.4
50	20.82	14.47	14.82	50.12	980	21.54
70	26.64	18.52	19.97	64.12	1254	27.56

Cuadro 5. Abatimiento de la humedad aprovechable, lámina de riego aplicada y rendimiento y diámetro de fruto de limón italiano (cosechado el 13 de septiembre de 2000), en los tratamientos de tensión y el testigo.

Tratamiento	Abatimiento de la humedad aprovechable (%)	Número de riegos	Lámina total de riego (mm)	Rendimiento de fruto (t ha ⁻¹)	Diámetro ecuatorial (cm)
T1 (30 kPa)	16.5	33	701	22.87 a	6.1 a
T2 (50 kPa)	29.2	26	842	20.46 a	6.1 a
T3 (70 kPa)	37.4	22	869	18.16 a	5.8 a b
Testigo	----	36	782	20.20 a	5.7 b

Valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Cuadro 6. Abatimiento de la humedad aprovechable, lámina de riego aplicada y rendimiento y diámetro de fruto de limón italiano (cosechado el 28 de agosto de 2001), en los tratamientos de tensión y el testigo.

Tratamiento	Abatimiento de la humedad aprovechable (%)	Número total de riegos	Lámina total de riego (mm)	Rendimiento de fruto (t ha ⁻¹)	Diámetro ecuatorial (cm)	Sólidos solubles totales (°Brix)
T1 (30 kPa)	16.5	35	901	43.3 a	6.2 a	20.9 a
T2 (50 kPa)	29.2	28	975	41.2 a	6.2 a	21.8 a
T3 (70 kPa)	37.4	23	994	40.0 a	6.2 a	20.6 a
Testigo	-----	37	841	25.0 b	5.5 b	16.0 b

Valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

CONCLUSIONES

El programar la irrigación con base en la tensión de humedad del suelo, medida con tensiómetros, en los sistemas de riego por microaspersión, permite mejorar el rendimiento y tamaño del fruto, comparado con el método tradicional de los productores de la región que consiste en aplicar los riegos con base en una apreciación visual de los requerimientos hídricos de los árboles, sin monitorear el contenido de humedad del suelo.

El riego por microaspersión en las huertas de limón italiano debe aplicarse cuando los tensiómetros colocados a una profundidad de 0.3 m indiquen una tensión de 30 kPa (que corresponde a aproximadamente 16 % de abatimiento de la humedad aprovechable). De esta forma se utiliza menos agua que la correspondiente al aplicar los riegos a 50 y 70 kPa, y permite obtener mayor producción que la obtenida con la forma tradicional del manejo del riego en la región citrícola del Estado de Tamaulipas.

AGRADECIMIENTOS

Al Grupo Industrial Santa Engracia (GISE) y al Grupo Martínez-Brohes, en especial a los Ingenieros Federico Martínez Brohes y Jorge Togno Murguía, por permitirnos usar su huerta para el desarrollo de la investigación. Al personal del Laboratorio de Investigación y Diagnóstico Agrícola y a la Dirección de Estudios de Postgrado e Investigación de la Unidad Académica Multidisciplinaria Agronomía y Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, a la Dirección de Investigación y el Departamento de Riego y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), por el apoyo brindado para la realización de la investigación, así como al Centro para el Fomento e Investigación Citrícola "Francisco Villa", de Güemez, Tamaulipas.

BIBLIOGRAFÍA

- Agusti M (1999) Citricultura. Eds. Mundi-Prensa. España. 418 p.
- Alam M, D H Rogers (1997) Tensiometer use in scheduling irrigation. Irrigation Management Series. Kansas State University. <http://www.oznet.ksu.edu/library/ageng2/1796.pdf>. (Consultado, 20 de Agosto, 2005).
- Amorós C M (1999) Producción de Agrios 2ª ed. Eds. Mundi-Prensa. España. 318 p.
- Baker J M (1990) Measuring water potential in soils and plants. Remote Sensing Rev. 5:263-279.
- Benton J J, B Wolf, H A Mills (1991) Plants Analysis Handbook. A Practical Sampling, Preparation, Analysis and Interpretation Guide. Micro-macro Publishing Inc., Athens, Georgia, USA. 12 p.
- Boman, B, Y Levy, L Parson (1999) Water management, physiological response of citrus to irrigation and water stress. In: Citrus Health Management. L W Timer, L W Duncan (eds). APS Press. University of Florida, USA. pp:72-81.
- Campbell G S (1990) Measuring water potential in soils and plants. Remote Sensing Rev. 5: 249-261.
- CNA (Comisión Nacional del Agua) (2002) Normales Climatológicas de la Estación San José de las Flores, Güemez, Tamps. Gerencia Golfo-Centro, Cd. Victoria, Tamps.120 p.
- CNA (Comisión Nacional del Agua (2001) Programa Hidráulico Regional 2002-2006 Región IX Golfo Norte. México.
- Domínguez V A (1993) Fertirrigación. Ed. Artes Gráficas Palermo. Madrid, España. 161 p.
- Du Plessis S F (1988) Irrigation Scheduling of Citrus. In: Proc. Sixth Internatl. Citrus Congress. March 6-11, Tel-Aviv, Israel. pp:731-788.
- Hensley D, J Deputy (1999) Using tensiometers for measuring soil water and scheduling irrigation. Published by College of Tropical Agriculture and Human Resources. <http://www.ctahr.hawaii.edu/oc/freepubs/pdf/L-10.pdf>. (Consultado, 20 de Agosto, 2005).
- Holzapel E A, C López, J P Joublan, R Matta (2001) Efecto del agua y fertirrigación en el desarrollo y producción de naranjos cv. Thompson Navel. Agric. Téc. 61:51-60.
- Hanson B R, S Orloff, D Peters (2000) Monitoring soil moisture helps refine irrigation management. California Agric. 54:38-42.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática) (1999) Carta Topográfica. Escala 1:50,000. Carta No. F14A19, Tamaulipas.
- Koo R C J, A G Smajstrla (1984) Effects of trickle irrigation and fertigation on fruit production and fertigation of 'Valencia' orange. Proc. Florida Sta. Hort. Soc. 97:8-10.
- Leos R J A. (2001) La citricultura: un esbozo de su problemática. In: Mem. Simposio Internacional: "La Citricultura en el Siglo XXI". Cd. Victoria, Tamaulipas, 13-15 de junio de 2001. pp:1-18.
- Morín Ch (1985) Cultivo de Cítricos. 2a ed. EdIICA. San José de Costa Rica. 598 p.
- Narro-Farías E (1994) Física de Suelos con Enfoque Agrícola. Ed. Trillas. México. 195 p.
- Ortiz O M. (1997). La Calidad de las Aguas de Riego. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 53 p.
- Paramasivam S, A K Alva, A Fares (2000) An evaluation of soil water status using tensiometers in a sandy soil profile under citrus production. Soil Sci. 165:343-353.
- Ryugo, K (1994) Fruticultura, Ciencia y Arte. AGT Editor S.A., México. 460 p.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) (2001) Inventario de productores citrícolas 2001. Sistemas de Información Agropecuaria. Alianza para el Campo, SAGARPA. Gobierno del Estado de Tamaulipas.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) (2003) Cierre de Cítricos 2002, distribución por municipios. SAGARPA Delegación Estatal. Gobierno del Estado de Tamaulipas.

Toledo E M (1996) Riego en cítricos. Memorias del Curso Internacional de Citricultura, del 26 al 30 de marzo de 1996, Unión Agrícola Regional de Citricultores de Tamaulipas, Cd. Victoria, Tam. México. pp:92-103.

Tyson T W, L M Curtis (1998) Scheduling irrigation using soil moisture tension. The Alabama Cooperative Extension System Publication No. ANR-467 (<http://www.aces.edu/departments/irrig/anr-467.htm>). (Consultado, 10 de Agosto, 2005).