

ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO SUPERFICIAL Y ENTERRADO EN CÍTRICOS

Muñoz, N., B. Gornat,** M.D. Serna, F. Legaz, P. González* y B. Martín

Departamento de Citricultura y otros Frutales

*Departamento de Recursos Naturales

Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias

Apartado Oficial. 46113. Moncada (Valencia). España

**Departamento Técnico. Irrimón S. A.

Avda. De la Senyera 17. 46133 Meliana (Valencia). España

Abstract

Comparison between surface and subsurface drip irrigation systems in citrus trees

The subsurface drip irrigation (SDI) may be an alternative to the drip irrigation (DI) system. This irrigation method reduces water evaporation losses, favours the management of cultural practices, noticeably decreases weed control, due to the fact that the soil surface is less wetted, and could be advantageous when applying fertilizers with low or high mobility in soil as phosphate or nitrate, respectively. The objective of this trial was to evaluate advantages and disadvantages of both systems on nutrient distribution in the soil, and to study their effects on the foliar concentration of macro and micronutrients in the plant, yield and fruit quality. On the other hand, we also intend to know the operativity of this system in field conditions. The experimental design consisted of 4 plots with 24 plants of clementine mandarin cv. Nules (*Citrus clementina* Hort. Ex Tan.) on Troyer citrange for each irrigation system. The tubes and emitters were installed at 30 cm below soil as well as on the surface, as control. Water and fertilizers rates were the same in both treatments (surface and subsurface). Foliar leaf composition, yield and fruit quality were unaffected by the location of the emitters. However, great differences were found in the nutrient distribution (NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , K^+ , Mg^{++}) in the soil wetted zone.

Additional key words: soil nutrient distribution, yield, fruit quality, leaf composition.

Resumen

El riego por goteo enterrado (RGE) puede ser una buena alternativa al riego por goteo superficial (RG). Este sistema de riego reduce las pérdidas de agua por evaporación, al presentar el suelo poca humedad en superficie, y esto a su vez disminuye notablemente la presencia de malas hierbas, no obstaculiza la ejecución de las prácticas culturales y puede

ser ventajoso en la aplicación de fertilizantes poco o muy móviles como el fósforo y nitrato, respectivamente. El objetivo de este trabajo se centró en evaluar las ventajas e inconvenientes de ambos sistemas sobre la distribución de los nutrientes en el bulbo de humedad y sus efectos sobre la concentración de macro y microelementos en las hojas, producción y calidad del fruto. Por otro lado, se intentó conocer el manejo del RGE en condiciones de campo. El experimento se diseñó con 4 bloques de 24 plantas de Clementina de Nules (*Citrus clementina* Hort, ex Tan.) para cada sistema de riego. Las tuberías y los emisores se colocaron sobre el suelo o enterradas a 30 cm de profundidad. El agua y las dosis de fertilizantes aportadas fueron las mismas para los 2 tratamientos (superficial y enterrado). No se encontraron diferencias substanciales en lo referente al contenidos de nutrientes en hojas, producción y calidad del fruto. Sin embargo, las diferencias fueron notables en la distribución de la humedad y de los nutrientes (NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , K^+ y Mg^{++}) en el bulbo húmedo del suelo.

1. Introducción

El agua es un bien cada día mas escaso, y la preocupación por el ahorro de este elemento es un hecho evidente. Las prácticas culturales, como el riego por inundación, están siendo reemplazadas con técnicas de riego de mayor efectividad, las cuales consiguen un importante ahorro de agua y de nutrientes, que conlleva una disminución en la contaminación de los acuíferos.

El riego localizado, y sobre todo a goteo, ha sufrido desde su origen una gran evolución, con mejoras importantes en cuanto a su diseño hidráulico y en los materiales empleados. El RG suministra agua y nutrientes a través de diversos tipos de emisores conectados a tuberías de polietileno. En la actualidad, existen emisores autocompensantes que mantienen su caudal constante en un amplio intervalo de presiones y mecanismos de autolimpieza que eliminan las partículas que pueden llegar a obstruirlos. Estas innovaciones han mejorado la uniformidad de riego, con la consiguiente mejora en la eficiencia del uso de agua y de los nutrientes.

El RG está muy extendido y se han realizados numerosos trabajos en cítricos. Existen estudios que adaptan la fertilización a este sistema de riego, tanto en las dosis, como en los tipos de abonos mas adecuados y frecuencia de aplicación de los mismos. Con el fin de mejorar la respuesta agronómica del RG, recientemente se han realizado algunos trabajos en (RGE), sobre todo, en plantas hortícolas.

El RGE se define como la "aplicación de agua por debajo del suelo a través de tuberías enterradas y/o emisores que, generalmente, descargan caudales de agua en el mismo rango que el riego por goteo superficial" (ASAE, 1992). Phene (1995) describe que las ventajas del sistema de RGE frente al RG se deben a tres características físicas: (a) Reducción de la evapotranspiración del cultivo, como consecuencia de la disminución de la pérdida de agua por evaporación del suelo. Este hecho ha sido estudiado por Ben-Asher y Phene (1993). Estos autores indican que el RGE es más ventajoso que el RG, ya que maximiza la transpiración a base de minimizar la evaporación y por Phene et al. (1989) que determinaron el ahorro potencial de agua al reducir la evaporación de ésta en un suelo desnudo, utilizando lisímetros de pesada. (b) Mayor volumen de suelo mojado. En este sentido, Phene et al. (1989) y Ben-Asher y Phene (1993) observaron que el

volumen de suelo mojado fue un 46% superior al proporcionado por el RG para la misma dosis de agua aplicada en un suelo franco arcilloso. (c) Mayor profundidad de desarrollo del sistema radical. Phene et al. (1991) encontraron que la densidad longitudinal de raíces en plantas hortícolas (maíz, algodón y tomate) fue mayor hasta una profundidad de 20 cm en RG, sin embargo por debajo de esta profundidad fue superior en el RGE.

Además, el RGE aporta otras ventajas: aumenta substancialmente la eficiencia del uso del agua sin reducir la producción. Phene et al. (1988) incrementaron notablemente la producción de plantas de tomate sin un aumento asociado del agua evapotranspirada por el cultivo. Lamm et al. (1995) sugieren que esta tecnología de riego puede reducir en un 25% las necesidades de agua, manteniendo producciones altas en el cultivo de maíz. También se ha visto que minimiza la percolación profunda y el lavado del N nítrico. Philip (1991) indica que este sistema mantiene constante el agua en el suelo y crea un gradiente hidráulico ascendente, que según Phene and Ruskin (1995) reduce la contaminación por lixiviación del nitrato y otras sales. Por otro lado, mejora las condiciones del uso de aguas salinas, al situar las sales por debajo del sistema radical (Oron et al., 1995). A la vista de lo expuesto se pensó que sería conveniente estudiar el comportamiento agronómico de este tecnología de riego en los cítricos.

El objetivo del presente trabajo ha consistido en evaluar la viabilidad del riego por goteo enterrado (30 cm de profundidad) frente al riego por goteo superficial. Para ello se ha estudiado comparativamente la influencia de ambos sistemas de riego en la distribución en el suelo de los macroelementos y en la composición mineral de las hojas, producción y calidad del fruto en una plantación comercial de Clementina de Nules.

2. Material y métodos

2.1. Condiciones experimentales

La parcela experimental está situada en el término municipal de Puzol (Valencia), integrada en una finca comercial. El experimento se llevó a cabo en árboles de Clementina de Nules de 9 años, al comienzo del ensayo, injertados sobre patrón citrange Troyer y marco de plantación de 5 m x 4 m. Por cada 3 filas de 16 árboles se efectuaron 2 tratamientos: (a) mitad riego superficial y (b) mitad riego enterrado. Sólo las 8 plantas de la fila central se usaron para los muestreos. Esta distribución se repitió 4 veces.

El suelo era de carácter básico (pH = 8.2), de textura franco-arenosa, bajos contenidos en materia orgánica, carbonato cálcico (8%) y caliza activa, y niveles óptimos en fósforo, potasio y magnesio (Legaz et al., 1995).

La parcela disponía de riego localizado desde su plantación. El segundo año de ensayo se instaló un cabezal de riego propio, con el fin de poder controlar el sistema de filtración y las aportaciones de agua y fertilizantes para ambos tratamientos. El agua se tomó de una balsa que a su vez procede de un pozo sito en la misma finca. El sistema de riego superficial estaba compuesto por 2 líneas portagoteros por cada fila de árboles, situadas a 1 m de distancia del tronco y 8 emisores por árbol. Los goteros eran autocompensantes y su caudal nominal es de 3.8 l/hora. El otro sistema de riego era idéntico, pero enterrado a 30 cm de profundidad. En varios estudios con plantas hortícolas también se ha situado la línea-portagoteros a esta profundidad (Bar-Yosef et al., 1989; Phene et al., 1991; Clark et

al., 1993; Oron et al., 1995). Las dosis de agua y de fertilizantes fueron las mismas para ambos sistemas. Las necesidades de agua se calcularon a partir de los datos de evaporación (últimos 9 años) del tanque clase A, situado en la estación meteorológica del IVIA y a una distancia de 10 Km. El nivel de humedad del suelo se midió con tensiómetros localizados a 30, 60, 90 y 120 cm de profundidad y a una distancia de 25 cm del gotero. Las dosis de fertilizantes se suministraron de acuerdo con las recomendaciones publicadas por Legaz (1997). Con el fin de evitar la intrusión de raíces en el interior de los goteros, al inicio y final de la temporada (primavera y otoño) se efectuó un tratamiento con treflán en el sistema enterrado.

2.2. Procedimientos analíticos

La toma de muestras de suelo se realizó mediante una barrena motorizada, modificada para recoger tierra a intervalos de 15 cm. Los muestreos se efectuaron a 20 cm del gotero y a las profundidades de 0-15, 15-30, 30-45, 45-60 y 60-75 cm. Cada muestra de suelo se tomó de 3 bulbos situados en la misma línea porat-goteros y en 3 árboles diferentes.

El porcentaje de humedad del suelo se determinó en estufa 105°C, las concentraciones de calcio y magnesio mediante espectrofotometría de absorción atómica (Chapman y Pratt, 1961) y los contenidos de nitrato y amonio mediante FIA. (Pérez-García et al., 1991).

Para el análisis foliar, se muestrearon hojas de brotes de la primavera sin fruto terminal, de 6 a 8 meses de edad. Después de lavadas y secadas en estufa a 65°C, se procedió a la determinación de la concentración de nitrógeno por el método semimicro de Kjeldhal (Bremner, 1965), de fósforo por colorimetría (Jackson, 1965) y de los macroelementos (K, Ca y Mg) y microelementos (Mn, Zn, Fe, Cu) por absorción atómica (Chapman y Pratt, 1961). Para el análisis de la calidad del fruto se tomaron al azar 5 frutos por árbol. El índice de color de la corteza se determinó por el método descrito por Jiménez Cuesta et al. (1981).

3. Resultados

Este ensayo se inició en julio de 1994, durante el año siguiente hubo problemas en el suministro de agua, por ello sólo se presentan los datos completos de 1996 y los referentes a la producción y calidad del fruto del año 1995. La influencia de los dos tratamientos (localización de los emisores a diferentes profundidades) sobre diversos aspectos relacionados con el suelo y la planta se expone en los apartados siguientes:

3.1. Distribución de la humedad gravimétrica y de los macronutrientes en el bulbo húmedo del suelo a diferentes profundidades

En las figuras 1 y 2 se presenta el contenido de humedad y las concentraciones de nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio a diferentes profundidades en el muestreo efectuado al final de junio. Sólo se exponen los resultados de este muestreo, ya que las

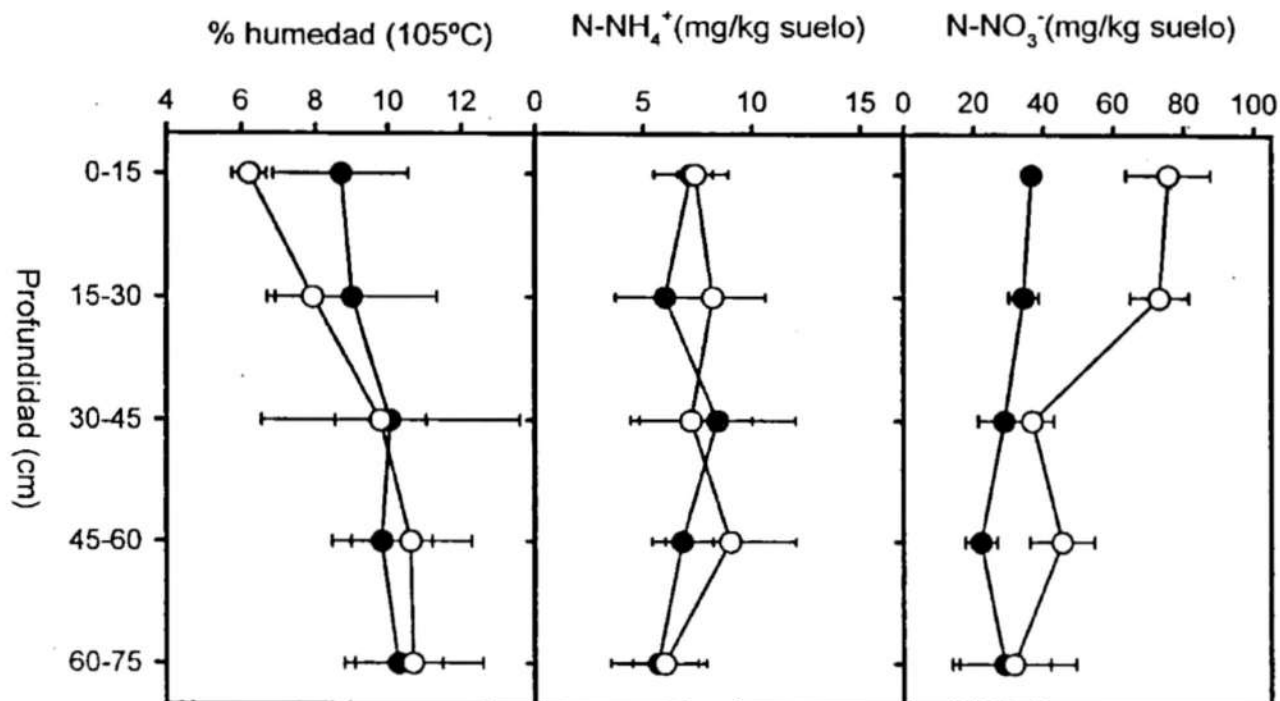


Fig 1. Distribución del contenido de humedad y del N amoniacal y nítrico función de la localización de los goteros (final de junio). Cada valor es la media de 4 repeticiones \pm D.E. Círculo relleno = RG, vacío= RGE.

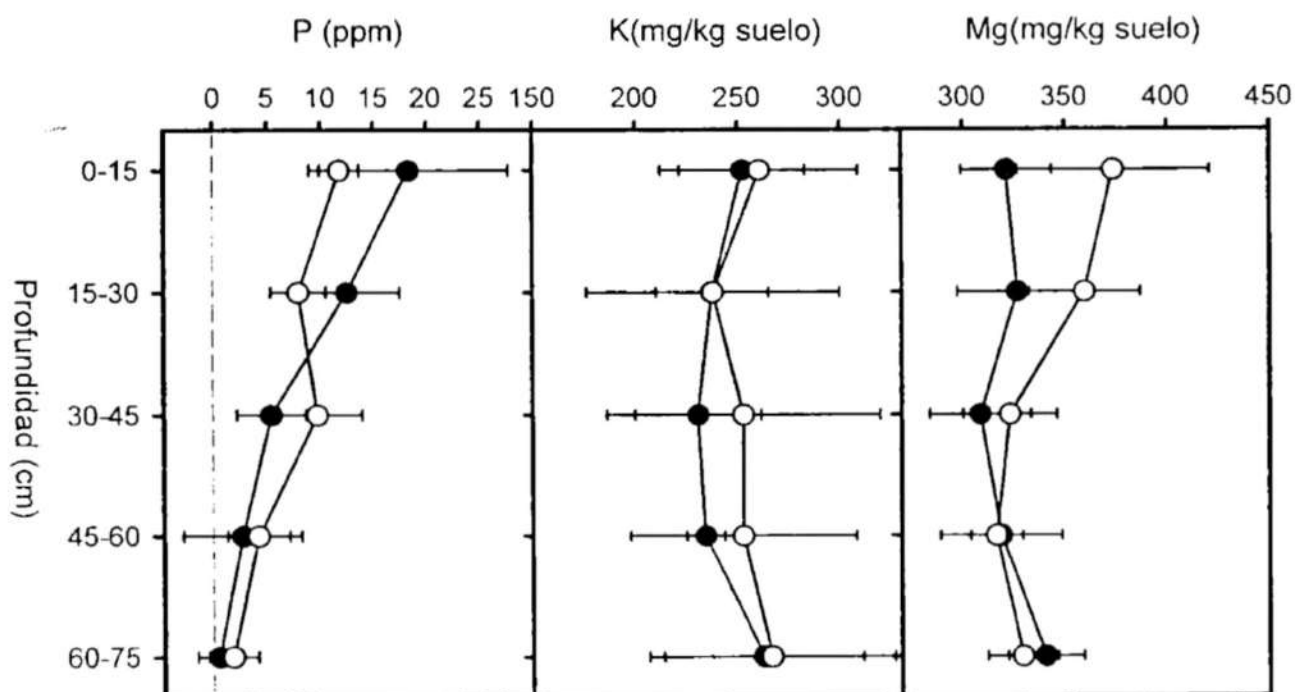


Fig 2 Distribución del contenido de fósforo, potasio y magnesio en el suelo en función de la localización de los goteros (al final de junio). Círculo relleno = RG, vacío= RGE.

pautas de distribución de estos parámetros han sido similares en los muestreos anteriores y posteriores a éste.

El porcentaje de humedad fue significativamente superior cerca de la superficie en el RG, entre los 15-30 cm ligeramente superior y muy similar entre los 30-45 cm en ambos sistemas de riego. A profundidades mayores la humedad apenas aumentó en el RGE. Los valores de la concentración de amonio se mantuvieron sin cambios apreciables hasta los 60 cm y a mayor profundidad decrecieron ligeramente en ambos tratamientos. El contenido de nitrato disminuyó paulatinamente desde la superficie hasta los 60 cm e incrementó ligeramente en la última profundidad en el RG. El contenido de nitrato fue mayor en el RGE a cualquier profundidad, siendo las diferencias (entre ambos sistemas) altamente significativas hasta los 30 cm (Fig. 1).

La concentración de P decreció fuertemente con la profundidad en el RG. El RGE concentró menos P en los primeros 30 cm y partir de esta profundidad se detectó un considerable aumento con respecto al superficial. La localización de los emisores apenas influyó en la distribución del K en ambos sistemas de riego, ya que los valores apenas variaron con la profundidad. Sin embargo, la concentración de Mg fue notablemente superior hasta 45 cm en el RGE y ligeramente menor en profundidad (Fig. 2).

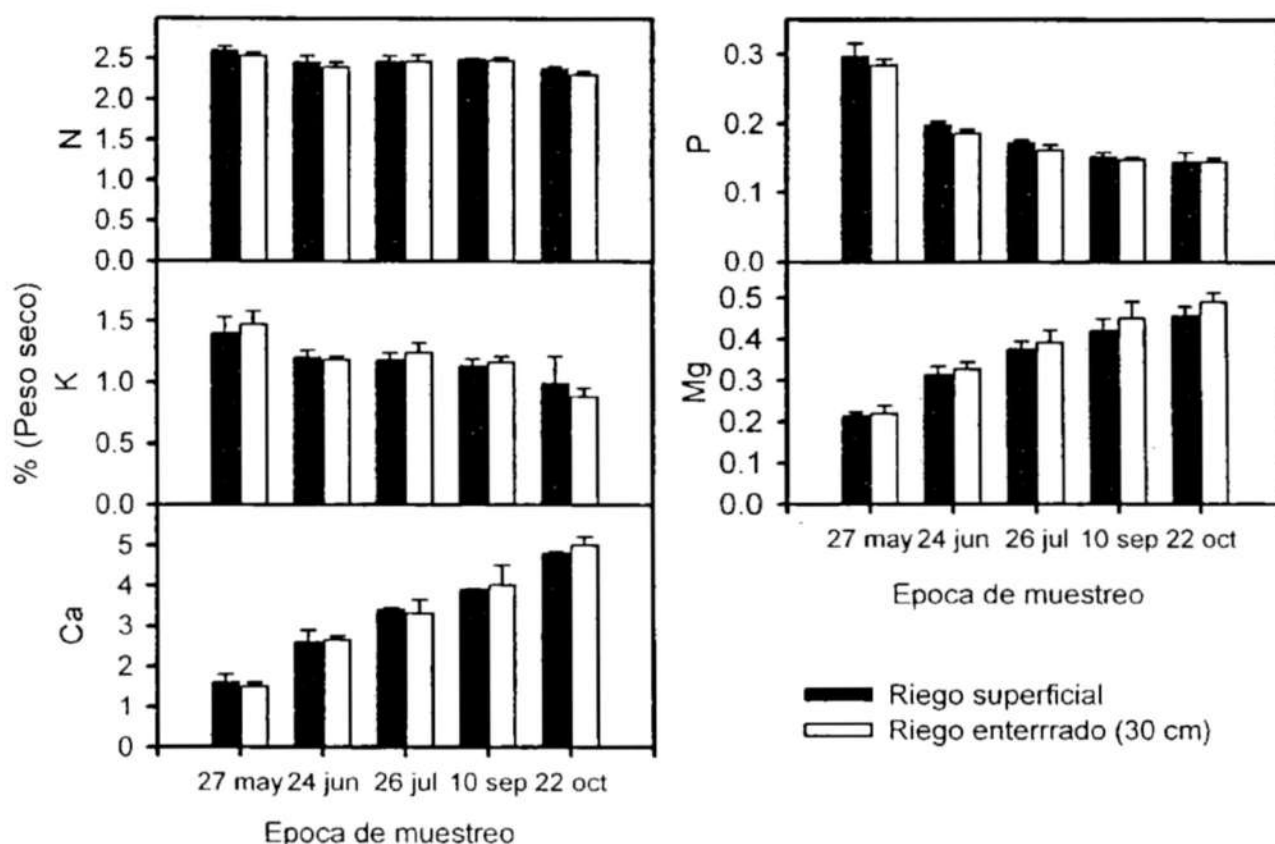


Fig 3. Variación estacional de la concentración de macronutrientes en hojas de brotes de primavera sin fruto terminal en función de la localización de los goteros. Cada valor es la media de 4 repeticiones \pm D.E.

3.2. Contenido de nutrientes en las hojas de la brotación de primavera

La concentración de macronutrientes y micronutrientes en hojas de brotes de primavera sin fruto terminal se expone en las figuras 3 y 4. La pauta de variación estacional de los contenidos de nutrientes fue similar para ambos sistemas de riego, alcanzándose en la última época de muestreo niveles nutritivos óptimos (Legaz et al. 1995).

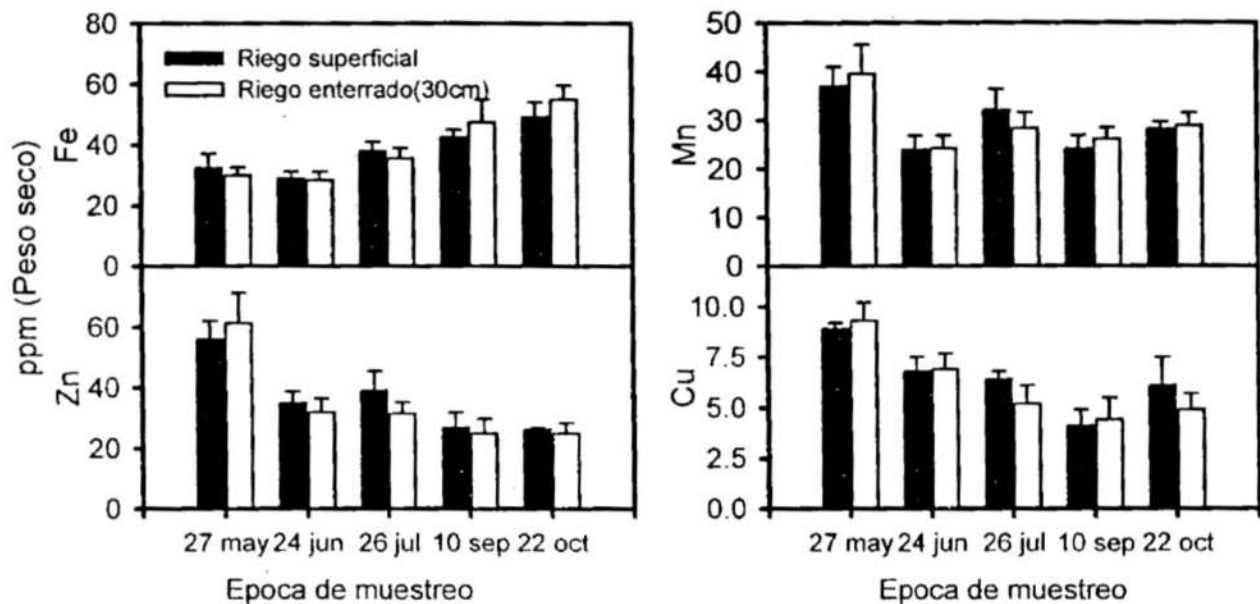


Fig 4. Variación estacional de la concentración de micronutrientes en hojas de brotes de primavera sin fruto terminal en función de la localización de los goteros.

3.3. Producción y calidad del fruto

En la tabla 1 se presenta la influencia de la localización de los emisores sobre la producción y los parámetros de calidad del fruto. Se observó un aumento apreciable de producción en los árboles sometidos a RGE en el año 1995; en cambio, en la campaña siguiente se obtuvieron cosechas similares en ambos tratamientos. En general, la localización de los emisores apenas influyó sobre las características del fruto, se podría destacar que el índice de color fue apreciablemente menor en el RG en ambas campañas. Valores más bajos en el índice de color, indican que los frutos están ligeramente más verdes exteriormente.

Tabla 1. Efecto de los diferentes tratamientos sobre la producción y calidad del fruto de Clementina de Nules

Parámetros ^z	1995		1996	
	Riego superficial	Riego enterrado	Riego superficial	Riego enterrado
Producción (Kg/árbol)	33.2±12.2	47.1±8.3	53.6±12.2	53.8±9.3
Peso fruto (g)	101±4	99±7	121.5±4.4	113.5±9.0
Espesor corteza (mm)	2.9±0.1	2.9±0.1	2.7±0.3	2.5±0.3
Corteza+pulpa (% en peso)	53.5±2.1	54.0±1.4	51.3±2.7	51.9±1.8
Zumo (% en peso)	46.6±2.0	46.1±1.4	48.8±2.7	48.1±1.8
Total sólidos solubles(%), TSS	12.2±0.3	12.3±0.6	11.0±0.2	11.0±0.4
Total acidez(%), TA	0.86±0.03	0.87±0.04	0.74±0.08	0.72±0.10
Indice madurez: TSS/TA	14.2±0.2	14.1±0.6	15.1±2.0	15.5±2.4
Indice de color	0.02±2.13	2.5±1.1	1.25±3.42	2.60±2.68

z: Cada valor es la media de 4 repeticiones ± D. E.

4. Discusión

La localización de los emisores influyó considerablemente sobre la distribución de la humedad y de los elementos asimilables a diferentes profundidades. La pauta de distribución del contenido de agua, a lo largo del perfil del suelo en los dos sistemas de riego, ha sido muy similar a la obtenida por Bar-Yosef et al. (1989) en cultivos de maíz y Oron et al. (1995) peral. Las distribuciones del amonio, fósforo y potasio coinciden con las descritas por Bar-Yosef et al. (1989) en maíz fertirrigado con ambos sistemas. La escasa movilidad del ion fosfato en el suelo explicaría la distribución observada en el RGE, concentraciones bajas hasta los 30 cm, y por el contrario altas en el RG. A partir de esta profundidad se invierte esta tendencia como consecuencia de que el fósforo se aplicó a mayor profundidad.

La distribución en profundidad del contenido de nitrato obtenida en este ensayo ha sido muy similar a las expuestas por Bar-Yosef et al. (1989) y Lamm et al. (1995) en maíz con emisores colocados a diferentes profundidades. Este nutriente, se acumuló preferentemente en los primeros 30 cm, debido a que el gradiente hidráulico ascendente ocasionado por el RGE apenas produjo lixiviación del nitrato.

El sistema de riego, RG o RGE, no ha influido sobre los niveles foliares de macro y microelementos. En este sentido, Clark et al. (1993) observaron que la concentración foliar de N fue similar en plantas de tomate cultivadas en un suelo arenoso y fertirrigadas con ambos sistemas y Bar-Yosef et al. (1989) tampoco encontraron influencia de la localización de los emisores sobre la concentración de N, P, y K en tallos de plantas de maíz. Los cambios estacionales observados en el contenido foliar de nutrientes coinciden con los citados por Embleton et al. (1973), a excepción del Zn y Mn, ya que en el presente estudio se aplicaron como correctores por vía foliar.

Con respecto la influencia de la profundidad de los emisores sobre la producción, existe muy poca información y además contradictoria. Oron et al. (1995) observaron que la producción aumentó un 20 % en plantas de peral sometidas a RGE y regadas con agua

de buena calidad. En condiciones salinas se llegó a un aumento del 36% y una ligera reducción del tamaño del fruto en comparación al RG. El efecto sobre el tamaño puede ser debido al aumento de producción, ya que normalmente los calibres más pequeños vienen asociados a altas producciones. Bar-Yosef et al. (1989) también detectaron aumentos de producción en maíz cultivado con riego enterrado. Sin embargo, Clark et al. (1993) encontraron menor producción y tamaño del fruto en plantas de tomate cultivadas en un suelo arenoso. Los autores sugieren que los resultados pueden estar más afectados por la menor disponibilidad de agua de estas plantas cultivadas en este tipo de suelo que por la localización del riego. En la bibliografía citada el emisor estaba situado a 30 cm de profundidad.

Después de analizar y discutir los datos obtenidos se sugieren algunas conclusiones:

- Este sistema es factible de utilizar en cítricos, a pesar de que el punto de emisión esté localizado a 30 cm de profundidad, ya que desde el punto de vista de la planta no afecta a la concentración foliar de los nutrientes ni a la producción y calidad del fruto. En cuanto al suelo, mejora la disponibilidad de los nutrientes, ya que en principio se esperaba mayor lixiviación en profundidad de los elementos muy móviles (nitrato) o de menor movilidad (potasio y magnesio) y en cambio los resultados expuestos no reflejan esto.
- Probablemente se puede ahorrar agua y nutrientes, según los resultados de la bibliografía consultada y la información obtenida en este estudio.
- Es necesario continuar con las investigaciones relativas a la eficiencia del uso de agua y de nutrientes con el fin de obtener los máximos beneficios con este sistema de riego.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su gratitud a A. Boix, J. B. Alberola, M. C. Prieto, J. Giner y Octavio Hernandez, por su colaboración en los trabajos de laboratorio y de campo. Este estudio ha sido financiado por el proyecto I.N.I.A. Nº: SC 93-139 y por la Empresa Irrimón S. A.

Referencias

- American Society of Agricultural Engineers. 1992. Soil and water terminology. Amer. Soc. Engr. Standard ASAE S526. ASA St. Joseph, MI.
- Ben-Asher, J. And Phene, C. J. 1993. The effect of surface drip irrigation on soil wa regime evaporation and transpiration. Proc. 6th Int. Conference on Irrigation, Tel-Aviv, Israel, 3-4 may, pp. 35-42.
- Bremner, J. 1965. Inorganics forms of nitrogen. In: Methods of soil analysis. Agronomy 9. Ed. C. A. Black. Am. Soc. of Agron. Madison. WI. pp 1179-1137.
- Chapman, M. D. and Pratt, P. F. 1961. Plant analysis. In: Methods of soil analysis for soils, plants and waters. Univ. California. Div. of Agric. Sci. pp 56-64.
- Clark, G. A., Stanley, C. D. and Maynard, D. N. 1993. Surface vs. Subsurface drip irrigation of tomatoes on a sandy soil. Proc. Fla. State Hortic Soc. 106: 210-212.

- Embleton, T. W., Jones W. W., Labanauskas, CH. K. Reuther, W. 1973. Leaf analysis as a diagnostic tools and guide to fertilization. In: The citrus industry. (Ed.) Reuther, W. Rev. Ed.). Univ. Calif. Div. Agric. Scid. Berkeley. Calif., 3:183-210.
- Jackson, M. L. 1965. Soil chemical analysis. Prentice-Hall. Englewood Cliffs, NJ. pp 151-153.
- Jiménez Cuesta, M., Cuquerella. J. and Martínez-Jávega, J.M. 1981. Determination of a colour index for citrus fruit degreening. *Proc. Int. Soc. Citriculture*, 2: 750-753.
- Lamm, F. R, Spurgeon, W. E., Rogers, D. H. and Manges, H. L. 1995. Corn production using subsurface drip irrigation. *Proc.5th Int. Microirrigation Congress*, 1: 388-394. Orlando, Florida
- Legaz, F. 1997. Determinación de la dosificación de abonado en los cítricos. Resúmenes, ponencias y conferencias, 1: 285-293. (I Congreso Ibérico y III Nacional de fertirrigación, mayo de 1 997, Murcia).
- Legaz, F., Serna M.D., Ferrer P., Cebolla V. y Primo-millo E. 1995. Análisis de hojas, suelos y aguas de riego para el diagnóstico nutricional de plantaciones de cítricos. Procedimiento de toma de muestras. Servicio de Transferencia de Tecnología Agraria. Dirección General de Investigación y Tecnología Agraria. Conselleria D'Agricultura, Pesca i Alimentació. Generalitat Valenciana, 26 pp.
- Oron, G., DeMalach, Y. Gilleramn, L. and David I. 1995. Pear response to saline water application under subsurface drip irrigation. *Proc. 5th Int. Microirrigation Congress*, 1: 97-103. Orlando, Florida
- Pérez-García, M.,Puchades, R. and Maquieira, A. 1991. Determination of assimilable phosphorus in soils by reversed flow injection analysis. *Soil Sci.*151(5): 349-354.
- Phene, C. J. 1995. The sustainability and potential of subsurface drip irrigation. *Proc.5th Int. Microirrigation Congress*, 1: 359-367. Orlando, Florida.
- Phene, C. J., Davis, K. R., McCormick, R. L., Hutmacher, R.B., Bar-Yosef, B., Meek, D. W. and Misaki, J. 1991. Effect of high frequency surface and subsurface drip irrigation on root distribution of sweet corn. *Irrig. Sc.*, 12: 135-140
- Phene, C. J., Davis, K. R., McCormick, R., Hutmacher, R.B. and Meek, D. W. J. 1988. Water and fertility management of drip irrigated tomatoes. *Proc. 4th Int. Micro-irrigation Congress*, Albury-Wodonga, Australia, pp.10B-1-10B-6.
- Phene, C. J., McCormick, R. L, Davis, K. R., Pierro, J. and Meek, D. W. 1989. A lysimeter feedback system for precise evapotranspiration measurement and irrigation control. *Transtions of the ASAE*, 32(2): 477-484.
- Phene, C. J. and Ruskin, R. 1995. Potential of subsurface drip irrigation for management of nitrate in wastewater. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 55: 1520-1523.
- Philip, J. R. 1991. Effect of root and subirrigation depht on evaporation and percolation losses. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 55: 1520-1523.